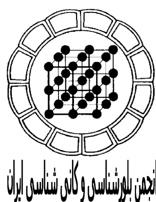
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی‌ام، شمارۀ اول، بهار ۱۴۰۱، از صفحۀ ۳ تا ۱۴



دما- فشارسنجی و شیمی کانی‌های گارنت و پیروکسن کانسار اسکارن عشوند نهاوند، غرب ایران

مهرداد موحدی*، محمد یزدی، مهرداد بهزادی

گروه زمین‌شناسی منابع معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱/۲۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۴/۲)

چکیده: کانسار اسکارنی عشوند نهاوند در ۱۰ کیلومتری شرق شهر نهاوند و در پهنه ساختاری سنندج- سیرجان واقع است. گارنت با ترکیب گراسولار-آندرادیت فراوانترین کانی پهنه اسکارنی است که ترکیب آنها در گستره Adr(%45.9 – 67.2) Gro(%31.8 – 50.1) Sps(%0.3 – 1.8) Prp(%0.6 – 2.5) قرار دارد. داده‌های بلورشیمی نشان دهنده کاهش مقدار آندرادیت و افزایش کانی‌های گروه پیرالسپیت از مرکز به سمت لبه بلورهای گارنت است. افزون بر این، افزایش جانشینی Al با Fe^{+3} از مرکز به سمت لبه بلورهای گارنت نشانگر افزایش مقدار گریزندگی اکسیژن طی رشد بلورهای گارنت است. پیروکسن دومین کانی فراوان پهنه اسکارنی است و ترکیب همگن‌تری نسبت به گارنت از خود نشان می‌دهد. ترکیب عمده پیروکسن‌های این کانسار را گستره هدنبرژیت تا دیوپسید با ترکیب Wo(%42.8 – 49.3) En(%9.5 – 26.6) Fs(%30.6 – 41.2) تشکیل می‌دهند که دارای نرخ متوسطی از نسبت Fe/(Fe+Mg) در گستره ۰٫۵۳ تا ۰٫۸۱ هستند. بررسی های دما - فشارسنجی نشانگر تشکیل بخش پیشرونده اسکارن در فشار ۱ تا ۲ کیلوبار و دمای بیشینه حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، XCO_2 کمتر از ۰٫۲، عمق تشکیل حدود ۵ کیلومتری و گریزندگی اکسیژن ۱۶- تا ۲۷- است. نتایج تجزیه نقطه‌ای گارنت‌ها و پیروکسن‌های پهنه اسکارنی گویای قرارگیری ترکیب آنها در گستره اسکارن‌های نوع آهن، طلا و مس است.

واژه‌های کلیدی: *بلورشیمی؛ تجزیه نقطه‌ای؛ دما فشارسنجی؛ اسکارن عشوند؛ غرب ایران.*

مقدمه

کانسار عشوند نهاوند از جمله کانسارهای موجود در کمربند فلززایی سنندج_سیرجان است که در شمال غرب آن واقع است. این کمربند بطول حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و عرض ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر در شمال زمین‌درز زاگرس با راستای شمال غربی-جنوب شرقی قرار دارد (شکل ۱) [1]. بی‌هنجاری‌های این کانسار در نتیجه پی‌جویی‌های زمین شیمیایی آبراهه‌ای در برگه زمین‌شناسی نهاوند در سال ۱۳۸۳ معرفی و سپس طی پی جویی‌های چکشی در سال ۱۳۸۵ توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور کشف و معرفی گردید در چند سال اخیر، حفاری‌های اکتشافی و گسترده توسط شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران امکان دستیابی به نمونه‌های زیرسطحی تا عمق ۱۰۰ متری و بررسی عمیق و گسترده کانی‌های گارنت و پیروکسن این کانسار اسکارنی را فراهم آورده است. این امر با توجه به یافته‌های با ارزش برآمده از آن پیرامون تغییرات شیمیایی ترکیب این کانی‌ها طی تکامل فیزیکوشیمیایی محیط و سیال‌های تشکیل دهنده اسکارن، دگرگونی‌ها و رویدادهای بسیار مهم سیال‌های کانسارساز اهمیت دارد. در این پژوهش، بر اساس داده‌های تجزیه نقطه‌ای بلورهای گارنت و پیروکسن از مرکز به لبه بلور، چگونگی تکامل سیال‌های کانه‌ساز و شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن در مراحل مختلف بررسی شد.

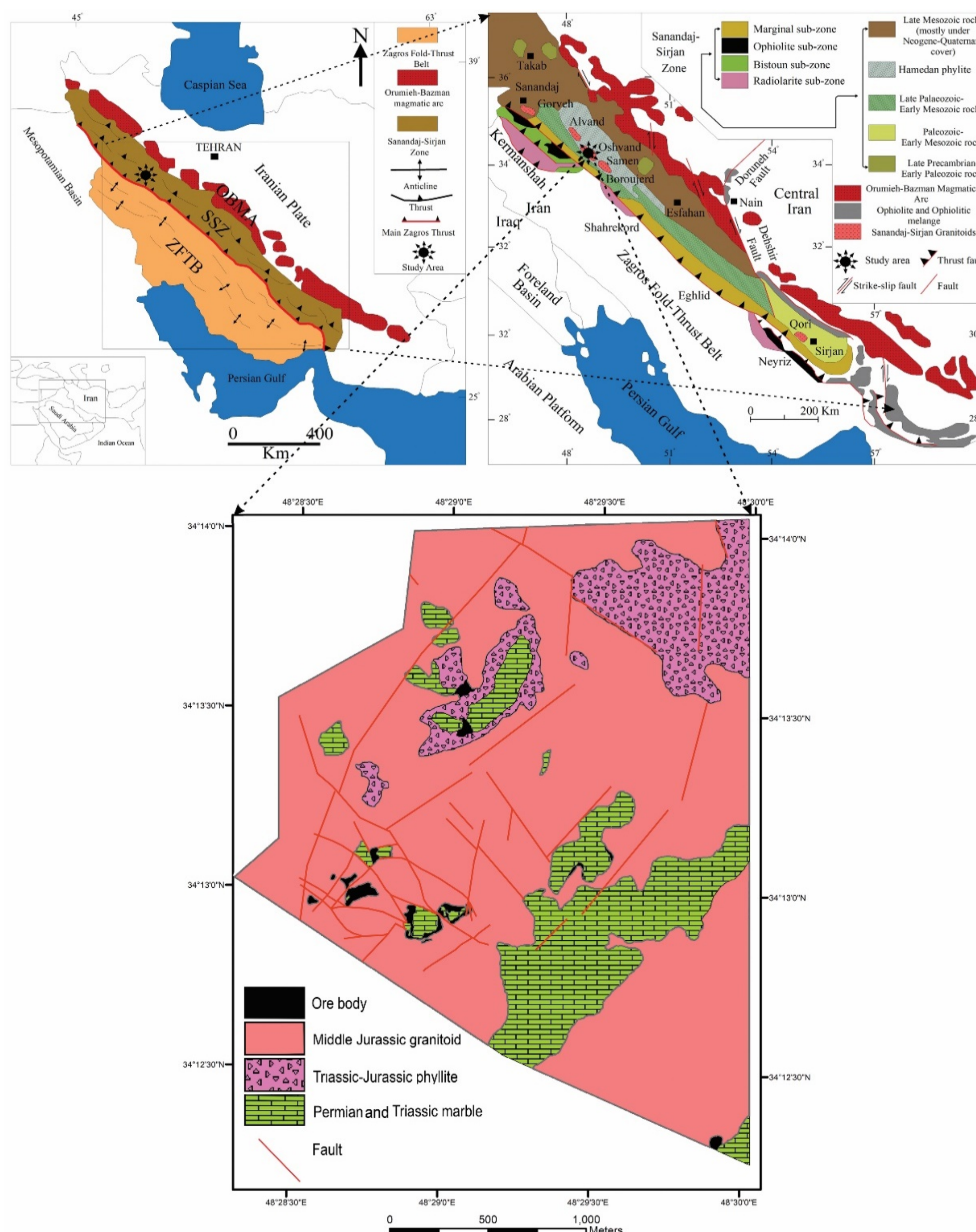
روش بررسی

پس از بررسی دقیق حدود ۱۲۰۰ متر مغزه‌های حفاری از ۱۲ گمانه اکتشافی حفر شده در منطقه عشوند که در انبار مغزه شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران نگهداری می‌شوند، در

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۵۳۹۷۶۷۹، نمابر: ۰۲۱-۶۴۵۹۵۰۰۰ ، پست الکترونیکی: mehrdad.movahedi@gmail.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.1.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.3]

مجموع ۱۳۰ نمونه از یک گمانه انتخابی و نمونه‌های سطحی انتخاب شده از این میان، ۴۴ مقطع صیقلی برای بررسی‌های کانه‌شناسی، ۳۶ مقطع نازک برای سنگ‌شناسی، ۴۰ نمونه برای تجزیه شیمیایی به روش طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) و طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس XRF و تعداد ۱۰ مقطع نازک دوبرصیقل برای تجزیه و تحلیل سیال‌های درگیر تهیه گردیدند. تجزیه نقطه‌ای برای ۱۵ کانی گارنت و ۱۵ کانی پیروکسن در مرکز تحقیقات مواد معدنی ایران با ریزپردازشگر الکترونی (EPHA) مدل Cameca SX-100 با ولتاژ ۱۵ هزار ولت، طول موج ۳ میکرومتر و شدت جریان ۱۵ نانوآمپر انجام شد. از هر نمونه، ۴ نقطه از مرکز تا لبه بلور تجزیه دیدند. داده‌های شیمیایی بدست آمده با روش دی‌یر محاسبه شدند [۲]. نسبت Fe^{+2} و Fe^{+3} براساس ترکیب آرمانی کانی‌های پیروکسن و گارنت محاسبه گردید.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد بررسی و موقعیت آن در پهنه‌بندی ساختاری ایران برگرفته از مرجع [۱] با تغییرات.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.1.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.3]

بحث و بررسی

زمین‌شناسی منطقه

کانسار عشوند در ۱۰ کیلومتری شرق شهرستان نهاوند و در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ همدان و ۱:۱۰۰۰۰۰ نهاوند، در بخش شمال غربی کمربند فلززایی سنندج-سیرجان واقع است [۳-۶]. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نهاوند، قدیمی‌ترین واحد سنگی منطقه مورد بررسی واحدهای کربناتی پرمین و شامل سنگ‌های آهکی مرمری شده نازک‌لایه کرم رنگ مایل به خاکستری هستند. از دیگر رخنمون‌های سنگی منطقه توده گرانیتوئیدی عشوند است که سن ژوراسیک میانی (۱۶۲ تا ۱۸۷ میلیون سال) را برای آنها پیشنهاد نموده‌اند [۷]. این واحد بیشترین گسترش را در منطقه مورد بررسی دارد و بیش از ۵۰ درصد از جامعه سنگی این منطقه را تشکیل می‌دهد [۴-۶].

سنگ‌نگاری و سنگ‌شناسی توده نفوذی

قسمت عمده سنگ‌های نفوذی گستره مورد بررسی را توده‌های بزرگ گرانیتوئیدی عشوند تشکیل داده که واحدهای کربناتی را در بر گرفته اند. این واحد به درون مجموعه کربناتی نفوذ نموده و در تماس با این بخش‌ها، سبب تبادل یون و تشکیل پهنه اسکارنی شده است. بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری و سنگ-شناسی بر نمونه‌های برداشت شده از این منطقه، ترکیب این توده‌های نفوذی در گستره گرانیت، گرانودیوریت تا کوارتزمونزونیت قرار دارد، همه نمونه‌های برداشت شده از واحدهای نفوذی در گستره پتاسیم بالا، متاآلومین، آهکی قلیایی با گرایش شوشونیتی قرار می‌گیرند و از نوع گرانیت‌های نوع I وابسته به فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای هستند [۴-۶]. نمونه‌های گرانیتی این توده بیشتر رنگ خاکستری روشن دارند و بلورهای شکل‌دار ارتوز در زمینه‌ای از کانی‌های فلدسپار پتاسیم و بیوتیت مشخص هستند. این نمونه‌ها در بررسی‌های میکروسکوپی، بافت دانه‌ای دارند و بلورهای ارتوز، پلاژیوکلاز و کوارتز بیشترین حجم سنگ را تشکیل داده‌اند. کلینوپیروکسن، آمفیبول و بیوتیت نیز با مقادیر کمتر در نمونه‌ها دیده می‌شوند. در برخی بخش‌ها، دگرسانی آرژیلی رسی در توده گرانیتی دیده می‌شود و به نظر می‌رسد که این دگرسانی در اثر عملکرد محلول‌های گرمابی ایجاد شده باشد [۴-۶]. در بخش‌های نزدیک‌تر به پهنه اسکارن‌زایی نیز دگرسانی اپیدوتیتی‌شدن فراگیر است.

سنگ‌نگاری اسکارن

در مرز توده‌های نفوذی با واحدهای کربناتی، یک هاله واکنشی اسکارنی گارنت-اپیدوت‌دار قهوه‌ای رنگ، بصورت نواری باریک به ضخامت ۲۰ تا ۴۰ متر گسترش دارد که مرز آن با توده گرانیتی بصورت یک مرز واکنشی تدریجی است. این هاله در نمونه دستی رنگ سبز روشن تا قهوه‌ای دارد و گارنت، کلریت، اپیدوت در متن سنگ نمایان است. از نظر میکروسکوپی، این سنگ‌ها دارای بافت دگرگونی دانه شکفتی و شکفته بلوری هستند [۴-۶]. براساس مشاهدات صحرایی و بررسی مقاطع نازک، اسکارن عشوند به دو بخش اصلی درون‌اسکارن و برون‌اسکارن قابل تفکیک است. کانی‌های اصلی بخش درون‌اسکارن را ارتوز، اپیدوت، پلاژیوکلاز، آمفیبول، کوارتز و کانی‌های فرعی این بخش را ترمولیت، اکتینولیت، اسفن، مگنتیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت و پیریت تشکیل می‌دهند. از توده نفوذی به سمت بخش کانه‌زایی اسکارن، به‌تدریج میزان دگرسانی گرمابی افزایش می‌یابد بطوریکه سرانجام همه ساختارهای ماگمایی سنگ از بین می‌رود. این اسکارن به ۵ پهنه قابل تفکیک است که دو پهنه در بخش درون‌اسکارن و سه پهنه در بخش برون‌اسکارن واقع می‌شوند. پهنه ۱ نخستین بخش درون‌اسکارن است که از یک سمت به توده نفوذی و از سوی دیگر به پهنه ۲ اسکارنی محدود می‌شود. این پهنه به‌واسطه حضور کانی‌های اپیدوت، پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیمی قابل تشخیص است. پهنه ۲ با افزایش قابل توجه کانی‌های اپیدوت با فراوانی بیش از ۶۰ درصد و همراهی با فلدسپات پتاسیمی، گارنت و ترمولیت مشخص می‌شود. در این منطقه، انباشت‌هایی از مگنتیت در ارتباط با رگه‌های کوارتز و اپیدوتیتی به چشم می‌خورند. از توده نفوذی به‌سمت پهنه ۲ برخی کانی‌ها چون کوارتز، اپیدوت، ترمولیت و مگنتیت بتدریج افزایش می‌یابند و برخی کانی‌های ماگمایی مانند آمفیبول و پلاژیوکلاز ناپدید می‌شوند. تشکیل درون‌اسکارن با اسفنیتی‌شدن و اپیدوتیتی‌شدن آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازها طی دوره دگرگونی همراه است. در این منطقه، برون‌اسکارن بخشی از اسکارن بوده که در سنگ میزبان کربناتی تشکیل شده است و بخش اصلی پهنه کانه‌زایی در این بخش قرار می‌گیرد. کانی‌های اصلی بخش برون‌اسکارن را گارنت، کلینوپیروکسن، ارتوپیروکسن، اولیوین، ایدنگسیت، دولومیت، کلسیت، ترمولیت، اکتینولیت، کوارتز و کلریت

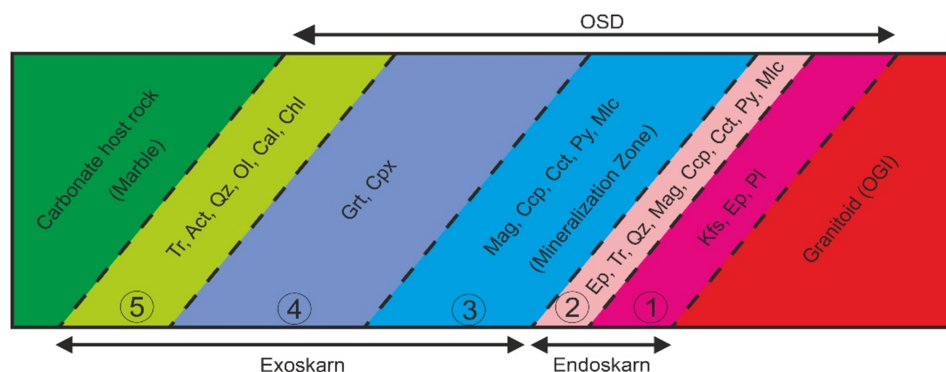
تشکیل می‌دهند. بخش اصلی کانه‌زایی در بروناسکارن واقع بوده و شامل کانه‌های مگنتیت، پیروتیت، کالکوپیریت، کالکوسیت، طلای آزاد، مالاکیت، آزوریت و پیریت است. مجموعه کانی‌های اصلی بروناسکارن در مرحله دگرگونی پیشرونده را کلینوپیروکسن (اوژیت تا دیوپسید) و گارنت (گراسولار تا آندرادیت) تشکیل می‌دهند. این پهنه بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی و کانه‌شناسی به سه بخش قابل تفکیک است (شکل ۲). پهنه ۳ نخستین پهنه بخش بروناسکارن و اصلی‌ترین و غنی‌ترین پهنه کانه‌زایی فلزات پایه و عناصر گرانبها چون طلا، مگنتیت و مس است که با کانی‌های اپیدوت، کلسیت، کوارتز و اکتینولیت همراهی می‌شود. این پهنه درونی‌ترین بخش دروناسکارن است که در نتیجه جانشینی مجموعه کانی‌های سیلیکاتی آهکی تشکیل شده در مرحله دگرگونی پیشرونده، طی مرحله دگرگونی برگشتی شکل گرفته است (شکل ۲). در این بخش، کانی گارنت توسط مگنتیت با بافت توده‌ای جانشین شده است. پهنه ۴ بواسطه فراوانی کانی‌هایی چون گارنت، کلینوپیروکسن و سایر کانی‌های اسکارنی در خارج از پهنه کانه‌زایی (پهنه ۳) قابل تشخیص است. کانی‌های مرحله پیشرونده اسکارن مانند گارنت و کلینوپیروکسن دارای منطقه‌بندی کانی‌شناسی هستند که نشانگر تغییر ترکیب و تکامل سیال در دگرگونی سامانه باز زمین‌شیمیایی است. گارنت‌های قهوه‌ای از سری اوگراندیتی بوده و دارای ترکیب شیمیایی متغیر بصورت محلول جامد بین دوکانی گراسولار تا آندرادیت هستند. فراوانی کانی‌های دگرگونی برگشتی چون اپیدوت، ترمولیت، ایدنگسیت، سرپانتین، اکتینولیت، کوارتز، مگنتیت، کلریت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت و کلسیت از مشخصه‌های پهنه پنجم کانسار عشوند است. این پهنه در بخش خارجی با سنگ میزبان کربناتی پایان یافته و خارجی‌ترین بخش بروناسکارن را تشکیل می‌دهد (شکل ۲). بر پایه بازدیدهای صحرایی و بررسی‌های میکروسکوپی، می‌توان گفت که دگرسانی بلورهای گارنت و پیروکسن به اپیدوت، کلسیت، کوارتز، ترمولیت و اکتینولیت نشانگر وجود شرایط اکسیدی در مراحل پایانی دگرگونی پسرونده است.

شیمی گارنت

نتایج تجزیه نقطه‌ای (EPMA) بلورهای گارنت از مرکز به‌سمت لبه بلور و ترکیب محاسبه شده بر پایه مقدار پیروپ، گراسولار، اسپسارتین و آندرانیت در جدول ۱ آورده شده‌اند. مقدار اوواروریت در محاسبات، زیر حد تشخیص است. همه نمونه‌ها دارای مقدار بسیار کمی تیتانیوم بوده و از عنصر کلسیم غنی هستند.

شیمی پیروکسن

نتایج تجزیه نقطه‌ای بلورهای پیروکسن از مرکز به‌سمت لبه بلور و ترکیب محاسبه شده براساس جدایش مولی بر پایه ترکیب شیمیایی سه عضو انتهایی مثلث فروسیلیت، انستاتیت و ولاستونیت در جدول ۲ آورده شده‌اند (شکل ۳). بر پایه نتایج، پیروکسن‌های این منطقه دارای ترکیب شیمیایی آمیزه‌ای از هدنبرژیت، فرواوژیت و دیوپسید با نسبت‌های متفاوت هستند ($Fs_{30.6-41.2}$ $En_{9.5-26.6}$ $Wo_{42.8-49.3}$) (جدول ۲). ترکیب شیمیایی بلورهای کلینوپیروکسن از مرکز بلور به‌سمت لبه متفاوت است بطوریکه از مرکز به‌سمت لبه مقدار هدنبرژیت به آرامی کاهش و مقدار دیوپسید و فرواوژیت افزایش می‌یابد (جدول ۲). کانی‌های ترمولیت و اکتینولیت در نتیجه فراوانی دیوپسید و هدنبرژیت و دگرسانی‌ها طی دگرگونی پسرونده در این منطقه یافت می‌شوند.



شکل ۲ موقعیت منطقه‌بندی دروناسکارن و بروناسکارن نسبت به توده نفوذی و سنگ میزبان کربناتی (نشانه های اختصاری از [۸]).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.1.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.3]

جدول ۱ نتایج تجزیه نقطه‌ای گارنت‌های اسکارن عشوند.

نمونه	OSH.EPMA.GRT.1				OSH.EPMA.GRT.2				OSH.EPMA.GRT.3				OSH.EPMA.GRT.4				OSH.EPMA.GRT.5			
توضیح	مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه		
اکسیدهای اصلی (wt%)																				
SiO2 %	۳۷٫۲۹	۳۷٫۱۷	۳۷٫۲۱	۳۷٫۳۵	۳۷٫۰۸	۳۷٫۴۴	۳۷٫۶۸	۳۷٫۶۲	۳۷٫۱۲	۳۷٫۲۴	۳۷٫۴۳	۳۷٫۵۱	۳۷٫۲۴	۳۷٫۴۳	۳۷٫۶۵	۳۷٫۳۸	۳۷٫۰۶	۳۷٫۲۹	۳۷٫۵۱	۳۷٫۵۹
TiO2	۰٫۳۳	۰٫۴۳	۰٫۴۵	۰٫۴۸	۰٫۴۱	۰٫۴۶	۰٫۴۵	۰٫۴۸	۰٫۲۸	۰٫۳۴	۰٫۳۸	۰٫۴۲	۰٫۲۸	۰٫۳۱	۰٫۲۹	۰٫۳۵	۰٫۲۸	۰٫۳۳	۰٫۳۱	۰٫۴۰
Al2O3	۸٫۴۲	۹٫۳۹	۱۰٫۲۴	۱۰٫۴۱	۸٫۹۲	۸٫۷۸	۹٫۱۲	۹٫۲۹	۷٫۸۶	۸٫۲۳	۸٫۸۰	۸٫۹۱	۷٫۶۸	۷٫۵۷	۸٫۱۲	۸٫۱۴	۷٫۶۴	۸٫۰۰	۸٫۴۲	۸٫۵۸
Cr2O3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۱	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO*	۱۹٫۵۹	۱۸٫۸۹	۱۸٫۱۶	۱۸٫۰۶	۱۹٫۳۳	۱۹٫۳۴	۱۹٫۲۵	۱۸٫۷۲	۲۰٫۶۴	۲۰٫۲۸	۱۹٫۵۹	۱۹٫۲۵	۲۰٫۰۹	۲۰٫۳۴	۲۰٫۳۱	۲۰٫۱۹	۲۰٫۷۳	۲۰٫۲۷	۲۰٫۰۲	۱۹٫۶۹
MnO	۰٫۳۷	۰٫۵۲	۰٫۵۵	۰٫۷۱	۰٫۵۴	۰٫۴۹	۰٫۶۲	۰٫۷۱	۰٫۳۵	۰٫۴۰	۰٫۴۷	۰٫۵۸	۰٫۳۱	۰٫۳۸	۰٫۳۹	۰٫۴۲	۰٫۳۴	۰٫۳۸	۰٫۴۵	۰٫۵۲
MgO	۰٫۳۲	۰٫۳۳	۰٫۴۲	۰٫۵۲	۰٫۳۷	۰٫۳۹	۰٫۴۲	۰٫۵۵	۰٫۲۷	۰٫۲۹	۰٫۳۶	۰٫۴۴	۰٫۳۱	۰٫۳۳	۰٫۳۱	۰٫۳۲	۰٫۲۷	۰٫۳۰	۰٫۳۳	۰٫۴۰
CaO	۳۳٫۶۷	۳۲٫۹۵	۳۲٫۸۹	۳۲٫۲۸	۳۳٫۱۱	۳۲٫۹۴	۳۲٫۳۳	۳۲٫۴۱	۳۳٫۴۶	۳۳٫۰۶	۳۲٫۹۹	۳۲٫۷۸	۳۳٫۵۵	۳۳٫۵۳	۳۲٫۸۷	۳۲٫۸۷	۳۳٫۵۶	۳۳٫۲۹	۳۲٫۸۷	۳۲٫۸۰
مجموع	۹۹٫۹۹	۹۹٫۶۸	۹۹٫۹۲	۹۹٫۸۱	۹۹٫۷۶	۹۹٫۸۴	۹۹٫۸۷	۹۹٫۷۸	۹۹٫۹۸	۹۹٫۸۴	۱۰۰٫۰۲	۹۹٫۸۹	۹۹٫۴۶	۹۹٫۸۹	۹۹٫۹۴	۹۹٫۶۸	۹۹٫۸۸	۹۹٫۸۶	۹۹٫۹۱	۹۹٫۹۸
تعداد اکسیژن ها:۱۲																				
Si	۳٫۰۰	۲٫۹۹	۲٫۹۸	۲٫۹۹	۲٫۹۸	۳٫۰۱	۳٫۰۲	۳٫۰۱	۲٫۹۹	۳٫۰۰	۳٫۰۰	۳٫۰۱	۳٫۰۱	۳٫۰۲	۳٫۰۳	۳٫۰۲	۲٫۹۹	۳٫۰۱	۳٫۰۲	۳٫۰۲
Al iv	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al vi	۰٫۸۳	۰٫۹۱	۰٫۹۸	۱٫۰۰	۰٫۸۷	۰٫۸۷	۰٫۹۰	۰٫۹۱	۰٫۷۸	۰٫۸۲	۰٫۸۷	۰٫۸۸	۰٫۷۷	۰٫۷۵	۰٫۸۰	۰٫۸۱	۰٫۷۶	۰٫۷۹	۰٫۸۳	۰٫۸۵
Ti	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe3+	۰٫۹۸	۰٫۹۱	۰٫۸۵	۰٫۸۳	۰٫۹۵	۰٫۹۴	۰٫۹۰	۰٫۸۹	۱٫۰۳	۰٫۹۹	۰٫۹۴	۰٫۹۳	۱٫۰۲	۱٫۰۳	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۱٫۰۴	۱٫۰۰	۰٫۹۷	۰٫۹۵
Fe2+	۰٫۳۴	۰٫۳۶	۰٫۳۶	۰٫۳۸	۰٫۳۵	۰٫۳۶	۰٫۳۹	۰٫۳۶	۰٫۳۷	۰٫۳۸	۰٫۳۷	۰٫۳۶	۰٫۳۴	۰٫۳۴	۰٫۳۹	۰٫۳۸	۰٫۳۶	۰٫۳۶	۰٫۳۸	۰٫۳۷
Mn	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴
Mg	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵
Ca	۲٫۹۰	۲٫۸۴	۲٫۸۲	۲٫۷۷	۲٫۸۶	۲٫۸۳	۲٫۷۸	۲٫۷۸	۲٫۸۹	۲٫۸۶	۲٫۸۴	۲٫۸۲	۲٫۹۱	۲٫۹۰	۲٫۸۳	۲٫۸۴	۲٫۹۱	۲٫۸۸	۲٫۸۳	۲٫۸۲
مجموع	۸٫۱۳	۸٫۱۲	۸٫۱۲	۸٫۱۱	۸٫۱۳	۸٫۱۱	۸٫۱۰	۸٫۱۱	۸٫۱۳	۸٫۱۲	۸٫۱۲	۸٫۱۱	۸٫۱۲	۸٫۱۲	۸٫۱۱	۸٫۱۲	۸٫۱۴	۸٫۱۲	۸٫۱۲	۸٫۱۱
Fe/(Fe+Al)a	۰٫۶۲	۰٫۵۸	۰٫۵۵	۰٫۵۵	۰٫۶۱	۰٫۶۱	۰٫۶۰	۰٫۵۹	۰٫۶۵	۰٫۶۳	۰٫۶۱	۰٫۶۰	۰٫۶۵	۰٫۶۶	۰٫۶۴	۰٫۶۴	۰٫۶۶	۰٫۶۴	۰٫۶۳	۰٫۶۲
اعضای انتهایی																				
پیروپ	۱٫۴۴	۱٫۴۷	۱٫۸۳	۲٫۲۸	۱٫۶۵	۱٫۷۶	۱٫۹۰	۲٫۴۷	۱٫۲۲	۱٫۳۱	۱٫۶۲	۱٫۹۸	۱٫۴۲	۱٫۵۱	۱٫۴۲	۱٫۴۶	۱٫۲۳	۱٫۳۶	۱٫۵۰	۱٫۸۱
گراسولار	۴۲٫۴۶	۴۶٫۷۴	۴۹٫۸۵	۵۰٫۰۹	۴۴٫۱۷	۴۳٫۹۶	۴۵٫۳۷	۴۵٫۲۶	۴۰٫۰۱	۴۱٫۸۳	۴۴٫۰۳	۴۴٫۱۰	۳۹٫۴۹	۳۸٫۶۳	۴۱٫۵۷	۴۱٫۵۰	۳۹٫۰۰	۴۰٫۷۵	۴۲٫۶۱	۴۲٫۹۴
اسپسارتین	۰٫۹۴	۱٫۳۱	۱٫۳۷	۱٫۷۷	۱٫۳۷	۱٫۲۶	۱٫۵۹	۱٫۸۱	۰٫۹۰	۱٫۰۳	۱٫۲۰	۱٫۴۸	۰٫۸۱	۰٫۹۹	۱٫۰۱	۱٫۰۹	۰٫۸۸	۰٫۹۸	۱٫۱۶	۱٫۳۴
آندرادیت	۵۵٫۱۶	۵۰٫۴۸	۴۶٫۹۵	۴۵٫۸۶	۵۲٫۸۱	۵۳٫۰۳	۵۱٫۱۵	۵۰٫۴۵	۵۷٫۸۷	۵۵٫۸۳	۵۳٫۱۵	۵۲٫۴۴	۵۸٫۲۸	۵۸٫۸۷	۵۶٫۰۰	۵۵٫۹۵	۵۸٫۹۰	۵۶٫۹۱	۵۴٫۷۴	۵۳٫۹۱
n.d. = آشکار نشده					FeO*= مقدار آهن کل				$aFe=Fe^{+2}+Fe^{+3}$											

ادامه جدول ۱

نمونه	OSH.EPMA.GRT.6				OSH.EPMA.GRT.7				OSH.EPMA.GRT.8				OSH.EPMA.GRT.9				OSH.EPMA.GRT.10			
توضیح	مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه		
اکسیدهای اصلی (wt%)																				
SiO2 %	۳۷٫۰۴	۳۷٫۳۵	۳۷٫۴۴	۳۷٫۶۱	۳۷٫۱۸	۳۷٫۲۶	۳۷٫۳۸	۳۷٫۴۸	۳۷٫۱۴	۳۷٫۲۸	۳۷٫۵۳	۳۷٫۶۱	۳۷٫۰۸	۳۷٫۱۶	۳۷٫۲۱	۳۷٫۴۷	۳۷٫۰۶	۳۷٫۱۳	۳۷٫۳۳	۳۷٫۵۲
TiO2	۰٫۲۶	۰٫۳۰	۰٫۳۴	۰٫۳۹	۰٫۲۴	۰٫۳۰	۰٫۲۸	۰٫۳۸	۰٫۲۴	۰٫۲۸	۰٫۲۹	۰٫۳۷	۰٫۲۱	۰٫۲۹	۰٫۳۴	۰٫۳۹	۰٫۲۲	۰٫۲۹	۰٫۲۸	۰٫۳۲
Al2O3	۷٫۵۸	۷٫۶۴	۸٫۰۵	۸٫۲۳	۷٫۳۶	۷٫۹۶	۸٫۴۴	۸٫۵۷	۷٫۳۳	۷٫۴۵	۷٫۸۷	۸٫۰۴	۷٫۱۸	۸٫۱۰	۸٫۶۴	۸٫۷۹	۷٫۱۸	۸٫۱۳	۸٫۶۱	۸٫۷۲
Cr2O3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO*	۲۱٫۱۶	۲۰٫۸۵	۲۰٫۲۴	۱۹٫۸۵	۲۰٫۷۸	۲۰٫۲۷	۲۰٫۰۱	۱۹٫۸۳	۲۱٫۲۶	۲۱٫۰۳	۲۰٫۵۲	۲۰٫۱۴	۲۱٫۲۰	۲۰٫۴۶	۱۹٫۶۷	۱۹٫۵۳	۲۱٫۲۰	۲۰٫۳۹	۱۹٫۷۶	۱۹٫۶۲
MnO	۰٫۳۴	۰٫۳۴	۰٫۴۴	۰٫۵۲	۰٫۲۷	۰٫۳۷	۰٫۴۰	۰٫۴۷	۰٫۳۰	۰٫۳۳	۰٫۴۰	۰٫۴۷	۰٫۲۵	۰٫۳۸	۰٫۴۰	۰٫۵۲	۰٫۲۵	۰٫۳۷	۰٫۴۱	۰٫۵۰
MgO	۰٫۲۵	۰٫۲۸	۰٫۳۳	۰٫۴۱	۰٫۲۵	۰٫۲۸	۰٫۳۱	۰٫۳۶	۰٫۲۴	۰٫۲۷	۰٫۳۰	۰٫۳۶	۰٫۲۲	۰٫۲۵	۰٫۳۳	۰٫۳۹	۰٫۲۳	۰٫۲۶	۰٫۳۲	۰٫۳۸
CaO	۳۳٫۳۳	۳۳٫۱۱	۳۳٫۰۴	۳۳٫۰۳	۳۳٫۷۹	۳۳٫۳۹	۳۳٫۰۵	۳۲٫۸۵	۳۳٫۵۳	۳۳٫۲۸	۳۳٫۰۷	۳۳٫۰۷	۳۳٫۶۴	۳۳٫۱۲	۳۳٫۲۹	۳۳٫۹۲	۳۳٫۷۲	۳۳٫۳۱	۳۳٫۱۴	۳۲٫۷۶
مجموع	۹۹٫۹۶	۹۹٫۸۷	۹۹٫۸۸	۱۰۰٫۰۴	۹۹٫۸۷	۹۹٫۸۳	۹۹٫۸۷	۹۹٫۹۴	۱۰۰٫۰۴	۹۹٫۹۲	۹۹٫۹۸	۱۰۰٫۰۶	۹۹٫۷۸	۹۹٫۷۶	۹۹٫۸۸	۱۰۰٫۰۱	۹۹٫۸۶	۹۹٫۸۸	۹۹٫۸۵	۹۹٫۸۲
تعداد اکسیژن ها:۱۲																				
Si	۲٫۹۹	۳٫۰۲	۳٫۰۲	۳٫۰۲	۳٫۰۱	۳٫۰۱	۳٫۰۱	۳٫۰۱	۳٫۰۰	۳٫۰۱	۳٫۰۲	۳٫۰۲	۳٫۰۰	۳٫۰۰	۲٫۹۹	۳٫۰۱	۳٫۰۰	۳٫۰۰	۳٫۰۰	۳٫۰۲
Al iv	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al vi	۰٫۷۵	۰٫۷۶	۰٫۸۰	۰٫۸۱	۰٫۷۳	۰٫۷۹	۰٫۸۳	۰٫۸۵	۰٫۷۳	۰٫۷۴	۰٫۷۸	۰٫۷۹	۰٫۷۲	۰٫۸۰	۰٫۸۵	۰٫۸۷	۰٫۷۲	۰٫۸۰	۰٫۸۵	۰٫۸۶
Ti	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe3+	۱٫۰۵	۱٫۰۳	۰٫۹۹	۰٫۹۸	۱٫۰۶	۱٫۰۱	۰٫۹۷	۰٫۹۵	۱٫۰۶	۱٫۰۴	۱٫۰۰	۰٫۹۹	۱٫۰۷	۱٫۰۰	۰٫۹۷	۰٫۹۴	۱٫۰۸	۱٫۰۰	۰٫۹۶	۰٫۹۴
Fe2+	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۳۷	۰٫۳۶	۰٫۳۵	۰٫۳۶	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۳۷	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۳۶	۰٫۳۶	۰٫۳۸	۰٫۳۶	۰٫۳۷	۰٫۳۶	۰٫۳۷	۰٫۳۷	۰٫۳۸
Mn	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳
Mg	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۵
Ca	۲٫۸۹	۲٫۸۶	۲٫۸۵	۲٫۸۴	۲٫۹۳	۲٫۸۹	۲٫۸۵	۲٫۸۳	۲٫۹۰	۲٫۸۸	۲٫۸۵	۲٫۸۵	۲٫۹۲	۲٫۸۷	۰٫۸۷	۲٫۸۳	۲٫۹۳	۲٫۸۸	۲٫۸۶	۲٫۸۲
مجموع	۸٫۱۴	۸٫۱۲	۸٫۱۲	۸٫۱۱	۸٫۱۳	۸٫۱۳	۸٫۱۲	۸٫۱۲	۸٫۱۴	۸٫۱۳	۸٫۱۲	۸٫۱۱	۸٫۱۴	۸٫۱۳	۸٫۱۳	۸٫۱۲	۸٫۱۴	۸٫۱۳	۸٫۱۲	۸٫۱۱
Fe/(Fe+Al)	۰٫۶۶	۰٫۶۶	۰٫۶۴	۰٫۶۳	۰٫۶۷	۰٫۶۵	۰٫۶۳	۰٫۶۲	۰٫۶۷	۰٫۶۷	۰٫۶۵	۰٫۶۴	۰٫۶۷	۰٫۶۴	۰٫۶۲	۰٫۶۱	۰٫۶۸	۰٫۶۴	۰٫۶۲	۰٫۶۱
اعضای انتهایی																				
پیروپ	۱٫۱۳	۱٫۲۸	۱٫۵۰	۱٫۸۷	۱٫۱۴	۱٫۲۷	۱٫۴۰	۱٫۶۳	۱٫۰۹	۱٫۲۴	۱٫۳۷	۱٫۶۴	۱٫۰۱	۱٫۱۳	۱٫۴۸	۱٫۷۵	۱٫۰۵	۱٫۱۷	۱٫۴۴	۱٫۷۲
گراسولار	۳۸٫۷۷	۳۹٫۳۲	۴۰٫۸۶	۴۱٫۱۹	۳۸٫۰۰	۴۰٫۶۳	۴۲٫۷۶	۴۳٫۱۱	۳۷٫۷۴	۳۸٫۳۵	۴۰٫۲۴	۴۰٫۶۵	۳۷٫۳۲	۴۱٫۴۰	۴۳٫۴۱	۴۳٫۷۸	۳۷٫۲۰	۴۱٫۳۷	۴۳٫۴۱	۴۳٫۷۱
اسپسارتین	۰٫۸۸	۰٫۸۸	۱٫۱۴	۱٫۳۴	۰٫۷۰	۰٫۹۵	۱٫۰۳	۱٫۲۱	۰٫۷۸	۰٫۸۶	۱٫۰۴	۱٫۲۲	۰٫۶۵	۰٫۹۸	۱٫۰۲	۱٫۳۳	۰٫۶۵	۰٫۹۵	۱٫۰۵	۱٫۲۸
آندرادیت	۵۹٫۲۲	۵۸٫۵۲	۵۶٫۵۰	۵۵٫۶۰	۶۰٫۱۶	۵۷٫۱۴	۵۴٫۸۱	۵۴٫۰۵	۶۰٫۳۹	۵۹٫۵۵	۵۷٫۳۵	۵۶٫۴۹	۶۱٫۰۳	۵۶٫۴۹	۵۴٫۰۹	۵۳٫۱۴	۶۱٫۱۱	۵۶٫۵۱	۵۴٫۱۰	۵۳٫۲۹
n.d. = آشکار نشده					FeO*= مقدار آهن کل				$aFe=Fe^{+2}+Fe^{+3}$											

ادامه جدول ۱

نمونه	OSH.EPMA.GRT.11				OSH.EPMA.GRT.12				OSH.EPMA.GRT.13				OSH.EPMA.GRT.14				OSH.EPMA.GRT.15			
توضیح	مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه		
اکسیدهای اصلی (wt%)																				
SiO2 %	۳۷/۰۸	۳۷/۲۸	۳۷/۳۴	۳۷/۵۰	۳۷/۱۲	۳۷/۲۱	۳۷/۳۱	۳۷/۴۳	۳۷/۱۴	۳۷/۲۵	۳۷/۵۸	۳۷/۵۲	۳۶/۸۱	۳۶/۹۵	۳۷/۱۱	۳۷/۲۳	۳۷/۱۱	۳۷/۰۴	۳۷/۴۳	۳۷/۴۵
TiO2	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۷
Al2O3	۷/۱۱	۷/۷۸	۸/۲۵	۸/۴۱	۶/۸۶	۷/۶۰	۸/۰۶	۸/۲۵	۶/۷۶	۷/۰۳	۷/۴۲	۷/۴۹	۶/۲۴	۶/۴۹	۶/۸۲	۷/۰۷	۵/۹۳	۶/۵۹	۶/۹۲	۷/۱۱
Cr2O3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰/۰۲	n.d.
FeO*	۲۱/۲۹	۲۰/۷۶	۲۰/۱۹	۱۹/۹۶	۲۱/۷۴	۲۱/۱۳	۲۰/۳۲	۲۰/۰۴	۲۱/۴۷	۲۱/۱۳	۲۰/۸۸	۲۰/۷۱	۲۲/۸۱	۲۲/۶۲	۲۱/۳۷	۲۰/۹۸	۲۲/۸۱	۲۱/۸۸	۲۱/۵۶	۲۱/۲۳
MnO	۰/۲۴	۰/۳۴	۰/۳۸	۰/۴۶	۰/۲۱	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۴۴	۰/۲۲	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۲۹
MgO	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۴
CaO	۳۳/۷۴	۳۳/۳۵	۳۳/۲۰	۳۲/۹۴	۳۳/۶۸	۳۳/۳۱	۳۳/۲۶	۳۳/۰۲	۳۳/۸۲	۳۳/۴۸	۳۳/۱۳	۳۳/۱۲	۳۳/۶۱	۳۳/۲۸	۳۳/۷۵	۳۳/۵۳	۳۳/۷۶	۳۳/۶۲	۳۳/۳۳	۳۳/۲۴
مجموع	۹۹/۸۹	۱۰۰/۰۳	۹۹/۹۳	۹۹/۹۹	۹۹/۹۸	۱۰۰/۰۲	۹۹/۸۵	۹۹/۸۸	۹۹/۸۳	۹۹/۶۸	۹۹/۷۹	۹۹/۷۳	۹۹/۸۳	۹۹/۸۳	۹۹/۷۶	۹۹/۶۹	۹۹/۹۸	۹۹/۶۷	۹۹/۸۴	۹۹/۷۳
تعداد اکسیژن ها:۱۲																				
Si	۳/۰۰	۳/۰۱	۳/۰۱	۳/۰۱	۳/۰۱	۳/۰۰	۳/۰۱	۳/۰۱	۳/۰۱	۳/۰۲	۳/۰۴	۳/۰۳	۳/۰۰	۳/۰۱	۳/۰۱	۳/۰۲	۳/۰۲	۳/۰۱	۳/۰۳	۳/۰۳
Al iv	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Al vi	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۶۹	۰/۷۶	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۶۸	۰/۷۰	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۶۰	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۷۱
Ti	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe3+	۱/۰۸	۱/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۷	۱/۱۰	۱/۰۴	۱/۰۰	۰/۹۸	۱/۱۰	۱/۰۷	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۱۵	۱/۱۳	۱/۱۰	۱/۰۷	۱/۱۶	۱/۱۲	۱/۰۸	۱/۰۶
Fe2+	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۳۸
Mn	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲
Mg	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳
Ca	۲/۹۳	۲/۸۸	۲/۸۶	۲/۸۴	۲/۹۲	۲/۸۸	۲/۸۷	۲/۸۵	۲/۹۴	۲/۹۱	۲/۸۷	۲/۸۷	۲/۹۳	۲/۹۰	۲/۹۳	۲/۹۱	۲/۹۴	۲/۹۳	۲/۸۹	۲/۸۸
مجموع	۸/۱۴	۸/۱۳	۸/۱۳	۸/۱۲	۸/۱۴	۸/۱۳	۸/۱۳	۸/۱۲	۸/۱۳	۸/۱۳	۸/۱۲	۸/۱۲	۸/۱۵	۸/۱۴	۸/۱۳	۸/۱۳	۸/۱۴	۸/۱۴	۸/۱۲	۸/۱۲
Fe/(Fe+Al)a	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۸
اعضای انتهایی																				
پیروپ	۱/۰۱	۱/۱۴	۱/۳۶	۱/۵۹	۰/۸۷	۱/۰۰	۱/۳۲	۱/۵۴	۱/۰۱	۱/۲۰	۱/۲۰	۱/۲۹	۰/۵۵	۰/۷۴	۱/۰۶	۱/۲۰	۰/۶۱	۰/۸۳	۰/۹۷	۱/۱۱
گراسولار	۳۶/۹۳	۳۹/۸۹	۴۱/۸۷	۴۲/۴۱	۳۵/۹۳	۳۹/۲۰	۴۱/۱۲	۴۱/۷۵	۳۵/۳۷	۵۲/۳۶	۳۸/۵۷	۳۸/۷۹	۳۳/۲۸	۳۴/۳۲	۳۵/۵۸	۳۹/۶۵	۳۱/۸۴	۳۴/۷۷	۳۶/۳۵	۳۷/۱۷
اسپسارتین	۰/۶۲	۰/۸۸	۰/۹۸	۱/۱۸	۰/۵۵	۰/۸۰	۰/۹۰	۱/۱۴	۰/۵۸	۰/۷۹	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۳۴	۰/۵۰	۰/۶۶	۰/۸۷	۰/۳۴	۰/۵۵	۰/۶۸	۰/۷۶
آندرادیت	۶۱/۴۴	۵۸/۰۹	۵۵/۸۰	۵۴/۸۲	۶۲/۶۵	۵۹/۰۰	۵۶/۶۶	۵۵/۵۷	۶۳/۰۴	۶۱/۵۰	۵۹/۳۷	۵۹/۰۰	۶۵/۸۳	۶۴/۴۴	۶۲/۷۱	۶۱/۲۹	۶۷/۲۱	۶۳/۸۴	۶۱/۹۹	۶۰/۹۶
آشکار نشده = n.d.									FeO*= مقدار آهن کل				aFe=Fe^{+2}+Fe^{+3}							

جدول ۲ نتایج تجزیه نقطه‌ای پیروکسن‌های اسکارن عشوند.

نمونه	OSH.EPMA.CPX.1				OSH.EPMA.CPX.2				OSH.EPMA.CPX.3				OSH.EPMA.CPX.4				OSH.EPMA.CPX.5			
توضیح	مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه		
SiO2 (%)	۵۰/۷۴	۵۰/۸۸	۵۱/۳۲	۵۱/۴۹	۵۰/۶۳	۵۰/۹۲	۵۱/۰۲	۵۱/۰۷	۵۰/۴۳	۵۰/۵۸	۵۰/۹۱	۵۱/۰۵	۵۰/۱۶	۵۰/۳۸	۵۰/۸۴	۵۱/۰۴	۵۰/۲۸	۵۰/۳۶	۵۰/۸۶	۵۰/۹۴
TiO2	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵
Al2O3	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۷
Cr2O3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO*	۲۰/۰۳	۱۹/۸۷	۱۸/۸	۱۸/۰۴	۲۰/۷۸	۱۹/۷۳	۱۹/۱۲	۱۸/۱۸	۲۱/۳	۲۰/۶۱	۱۹/۹۳	۱۹/۰۶	۲۱/۵۱	۲۱/۱۱	۲۰/۲۹	۱۹/۵۱	۲۱/۶۳	۲۱/۰۴	۲۰/۱۷	۱۹/۲۵
MnO	۰/۴۳	۰/۱۰	۰/۱۷	۰/۶۲	۰/۴۱	۰/۱۵	۰/۶۲	۰/۹۶	۰/۶۸	۰/۲۹	۰/۴۴	۰/۵۵	۰/۸۱	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۷۵	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۵۸
MgO	۷/۴۲	۷/۹۵	۸/۵۸	۹/۱۱	۶/۵۱	۷/۷۴	۸/۱۸	۸/۶۶	۵/۷۹	۶/۶۷	۷/۲۴	۷/۹۶	۵/۴۲	۶/۱۳	۶/۷۷	۷/۶۲	۵/۳۹	۶/۲۱	۷/۱۹	۷/۸۱
CaO	۲۱/۰۳	۲۰/۹۲	۲۰/۶۳	۲۰/۳۹	۲۱/۳۶	۲۱/۳۹	۲۱/۰۳	۲۰/۸۶	۲۱/۶۹	۲۱/۵۹	۲۱/۲۱	۲۱/۱۶	۲۱/۸۶	۲۱/۶۹	۲۱/۳۷	۲۱/۱۹	۲۱/۸۶	۲۱/۷۴	۲۱/۱۸	۲۱/۱۴
Na2O	۰/۰۲	n.d.	n.d.	۰/۰۳	۰/۰۳	n.d.	n.d.	n.d.	۰/۰۲	n.d.	n.d.	n.d.	۰/۰۲	n.d.	n.d.	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۱	n.d.	۰/۰۴
K2O	۰/۰۱	n.d.	n.d.	n.d.	۰/۰۱	n.d.	n.d.	۰/۰۱	۰/۰۱	n.d.	n.d.	n.d.	۰/۰۱	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
مجموع	۹۹/۸۳	۹۹/۹۹	۹۹/۷۹	۹۹/۹۴	۹۹/۸۱	۹۹/۹۹	۱۰۰/۰۹	۹۹/۸۶	۱۰۰/۰۲	۹۹/۸۶	۹۹/۹۱	۹۹/۹۹	۹۹/۸۹	۹۹/۸۳	۹۹/۸۵	۹۹/۹۹	۱۰۰/۰۶	۹۹/۸۷	۹۹/۹۱	۹۹/۹۸
تعداد یون ها بر پایه ۶ اتم اکسیژن																				
Si	۱/۹۹۷	۱/۹۹۳	۲/۰۰۵	۲/۰۰۲	۲/۰۰۳	۱/۹۹۵	۱/۹۹۳	۱/۹۹۳	۲/۰۰۰	۱/۹۹۸	۲/۰۰۳	۱/۹۹۸	۱/۹۹۷	۱/۹۹۷	۲/۰۰۷	۲/۰۰۰	۱/۹۹۸	۱/۹۹۴	۲/۰۰۲	۱/۹۹۵
Ti	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
Al	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰	/۰۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸
Cr	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Fe2+	۰/۶۵۹	۰/۶۵۱	۰/۶۱۴	۰/۵۸۶	۰/۶۸۸	۰/۶۴۷	۰/۶۲۵	۰/۵۹۳	۰/۷۰۶	۰/۶۸۱	۰/۶۵۶	۰/۶۲۴	۰/۷۱۶	۰/۷۰۰	۰/۶۷۰	۰/۶۳۹	۰/۷۱۹	۰/۶۹۷	۰/۶۶۴	۰/۶۳۰
Mn	۰/۰۱۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	/۰۲۰	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵	۰/۰۲۱	۰/۰۳۲	۰/۰۲۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۸	۰/۰۲۷	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۲۵	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۹
Mg	۰/۴۳۵	۰/۴۶۴	۰/۵۰۰	۰/۵۲۸	۰/۳۸۴	۰/۴۵۲	۰/۴۷۶	۰/۵۰۴	۰/۳۴۲	۰/۳۹۳	۰/۴۲۵	۰/۴۶۴	۰/۳۲۲	۰/۳۶۲	۰/۳۹۸	۰/۴۴۵	۰/۳۱۹	۰/۳۶۷	۰/۴۲۲	۰/۴۵۶
Ca	۰/۸۸۷	۰/۸۷۸	۰/۸۶۳	۰/۸۴۹	۰/۹۰۵	۰/۸۹۸	۰/۸۸۰	۰/۸۷۲	۰/۹۲۲	۰/۹۱۴	۰/۸۹۴	۰/۸۸۷	۰/۹۳۲	۰/۹۲۱	۰/۹۰۴	۰/۸۹۰	۰/۹۳۱	۰/۹۲۲	۰/۸۹۳	۰/۸۸۷
Na	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳
K	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
مجموع	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰
Fe/(Fe+Mg)	۰/۶۰۲	۰/۵۸۴	۰/۵۵۱	۰/۵۲۶	۰/۶۴۲	۰/۵۸۹	۰/۵۶۸	۰/۵۴۱	۰/۶۷۴	۰/۶۳۴	۰/۶۰۷	۰/۵۷۴	۰/۶۹۰	۰/۶۵۹	۰/۶۲۷	۰/۶۸۹	۰/۶۹۳	۰/۶۵۵	۰/۶۱۱	۰/۵۸۰
Mn/Fe	۰/۰۲۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰	۰/۰۳۴	۰/۰۲۰	۰/۰۰۸	۰/۰۳۴	۰/۰۵۴	۰/۰۳۳	۰/۰۱۵	۰/۰۲۳	۰/۰۲۹	۰/۰۳۸	۰/۰۱۷	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	۰/۰۳۵	۰/۰۱۴	۰/۰۱۷	۰/۰۳۰
محاسبه هنجاری اعضای انتهایی																				
ولاستونیت	۴۴/۴۴	۴۳/۹۸	۴۳/۵۲	۴۲/۷۹	۴۵/۴۷	۴۴/۸۷	۴۳/۹۸	۴۳/۵۹	۴۶/۲۳	۴۵/۷۵	۴۴/۹۳	۴۴/۵۰	۴۶/۶۸	۴۶/۱۶	۴۵/۵۲	۴۴/۷۹	۴۶/۶۸	۴۶/۲۱	۴۴/۸۷	۴۴/۵۲
انستاتیت	۲۱/۸۲	۲۳/۲۶	۲۵/۱۹	۲۶/۶۰	۱۹/۲۹	۲۲/۵۹	۲۳/۸۱	۲۵/۱۸	۱۷/۱۷	۱۹/۶۷	۲۱/۳۴	۲۳/۲۹	۱۶/۱۱	۱۸/۱۶	۲۰/۰۷	۲۲/۴۲	۱۶/۰۲	۱۸/۳۷	۲۱/۲۰	۲۲/۸۹
فروسیلیت	۳۳/۷۵	۳۲/۷۶	۳۱/۳۰	۳۰/۶۱	۳۵/۲۴	۳۲/۵۴	۳۲/۲۲	۳۱/۲۲	۳۶/۵۹	۳۴/۵۸	۳۳/۷۳	۳۲/۲۱	۳۷/۲۱	۳۵/۶۸	۳۴/۴۱	۳۲/۷۹	۳۷/۳۱	۳۵/۴۲	۳۳/۹۳	۳۲/۶۰
آشکار نشده=n.d.								مقدار آهن کل=FeO*												

ادامه جدول ۲

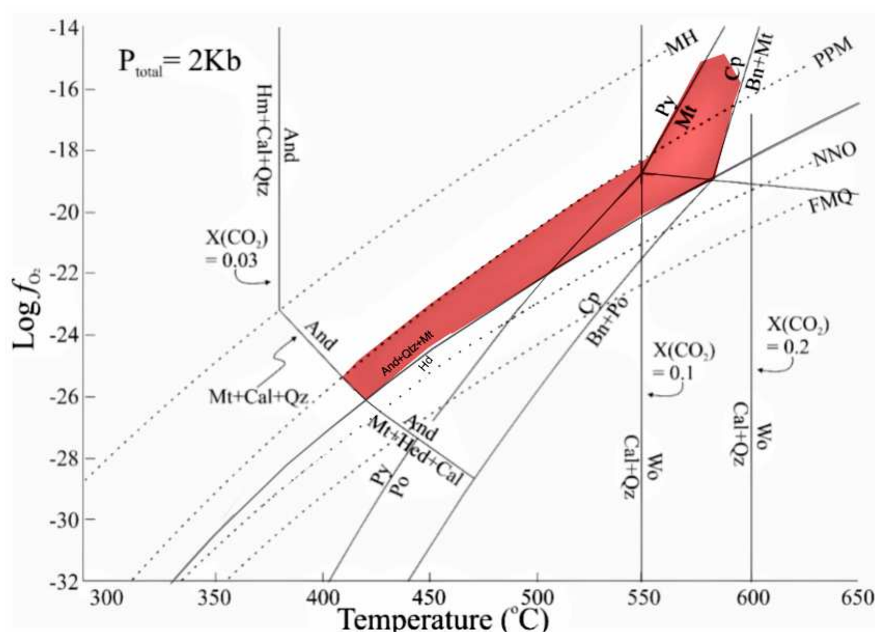
نمونه	OSH.EPMA.CPX.6				OSH.EPMA.CPX.7				OSH.EPMA.CPX.8				OSH.EPMA.CPX.9				OSH.EPMA.CPX.10			
توضیح	مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه		
SiO2 (%)	۵۰٫۱۸	۵۰٫۴۵	۵۰٫۷۴	۵۰٫۸۱	۵۰٫۰۹	۵۰٫۲۴	۵۰٫۸۱	۵۰٫۹۴	۵۰٫۱۳	۵۰٫۴۸	۵۰٫۶۸	۵۰٫۸۶	۴۹٫۹۳	۵۰٫۳۱	۵۰٫۶۳	۵۰٫۷۳	۴۹٫۹۲	۵۰٫۳۲	۵۰٫۷۱	۵۰٫۸۱
TiO2	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۷
Al2O3	۰٫۰۵	۰٫۱۲	۰٫۰۷	۰٫۱۰	۰٫۰۸	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۹	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۱۱	۰٫۱۴	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۱۰	۰٫۱۴	۰٫۰۶	۰٫۱۴	۰٫۰۸	۰٫۱۱
Cr2O3	۰٫۰۵	۰٫۱۲	۰٫۰۷	۰٫۱۰	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۱	n.d.
FeO*	۲۱٫۷۴	۲۰٫۸۳	۲۰٫۰۴	۱۹٫۱۳	۲۱٫۹۱	۲۱٫۴۱	۲۰٫۵۵	۱۹٫۷۶	۲۱٫۷۶	۲۱٫۰۴	۲۰٫۴۵	۱۹٫۵۸	۲۲٫۰۵	۲۱٫۲۶	۲۰٫۴۸	۱۹٫۵	۲۲٫۱	۲۱٫۲۳	۲۰٫۳۸	۱۹٫۵۳
MnO	۰٫۷۰	۰٫۳۸	۰٫۵۲	۰٫۶۴	۰٫۸۷	۰٫۴۴	۰٫۳۸	۰٫۳۴	۰٫۸۰	۰٫۳۹	۰٫۵۸	۰٫۵۲	۰٫۸۱	۰٫۲۰	۰٫۳۶	۰٫۷۸	۰٫۸۱	۰٫۴۶	۰٫۵۱	۰٫۵۴
MgO	۵٫۲۱	۶٫۲۲	۷٫۲۰	۷٫۸۶	۴٫۹۳	۵٫۶۶	۶٫۵۹	۷٫۴۳	۴٫۹۷	۶٫۰۲	۶٫۵۷	۷٫۳۹	۴٫۸۲	۵٫۹۳	۶٫۷۵	۷٫۲۴	۴٫۷۹	۵٫۷۳	۶٫۸۸	۷٫۶۳
CaO	۲۱٫۹۱	۲۱٫۸۸	۲۱٫۱۷	۲۱٫۲۲	۲۲٫۰۶	۲۱٫۹۴	۲۱٫۳۸	۲۱٫۲۸	۲۲٫۰۲	۲۱٫۸۷	۲۱٫۵۳	۲۱٫۴۹	۲۲٫۰۸	۲۲٫۰۵	۲۱٫۵۱	۲۱٫۵۶	۲۲٫۰۹	۲۱٫۹۵	۲۱٫۲۹	۲۱٫۳۳
Na2O	۰٫۰۳	۰٫۰۱	n.d.	۰٫۰۳	۰٫۰۳	n.d.	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۳	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۶	n.d.	n.d.	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۱	n.d.	n.d.
K2O	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۱	n.d.	۰٫۰۱	n.d.	n.d.	۰٫۰۱	n.d.	n.d.	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	n.d.	n.d.	۰٫۰۱
مجموع	۹۹٫۸۹	۱۰۰٫۰۲	۹۹٫۸۶	۹۹٫۹۴	۹۹٫۹۹	۹۹٫۸۶	۹۹٫۹۲	۱۰۰٫۰۳	۹۹٫۷۹	۹۹٫۸۵	۹۹٫۹۴	۱۰۰٫۰۴	۹۹٫۸۳	۹۹٫۸۵	۹۹٫۸۹	۱۰۰٫۰۴	۹۹٫۸۴	۹۹٫۸۶	۹۹٫۹۱	۱۰۰٫۰۳
تعداد یون، ها بر پایه ۶ اتم اکسیژن،																				
Si	۲٫۰۰۰	۱٫۹۹۵	۱٫۹۹۹	۱٫۹۹۱	۱٫۹۹۸	۱٫۹۹۷	۲٫۰۰۷	۱٫۹۹۸	۲٫۰۰۲	۲٫۰۰۲	۲٫۰۰۲	۱٫۹۹۶	۱٫۹۹۵	۱٫۹۹۶	۱٫۹۹۹	۱٫۹۹۲	۱٫۹۹۵	۱٫۹۹۸	۲٫۰۰۱	۱٫۹۹۲
Ti	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲
Al	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۵
Cr	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Fe2+	۰٫۷۲۵	۰٫۶۸۹	۰٫۶۶۰	۰٫۶۲۷	۰٫۷۳۱	۰٫۷۱۲	۰٫۶۷۹	۰٫۶۴۸	۰٫۷۲۷	۰٫۶۹۸	۰٫۶۷۵	۰٫۶۴۳	۰٫۷۳۷	۰٫۷۰۵	۰٫۶۷۶	۰٫۶۴۰	۰٫۷۳۹	۰٫۷۰۵	۰٫۶۷۲	۰٫۶۴۰
Mn	۰٫۰۲۴	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۷	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۹	۰٫۰۱۵	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۱	۰٫۰۲۷	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۹	۰٫۰۱۷	۰٫۰۲۷	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۲	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۷	۰٫۰۱۵	۰٫۰۱۷	۰٫۰۱۸
Mg	۰٫۳۱۰	۰٫۳۶۷	۰٫۴۲۳	۰٫۴۵۹	۰٫۲۹۳	۰٫۳۳۵	۰٫۳۸۸	۰٫۴۳۵	۰٫۲۹۶	۰٫۳۵۶	۰٫۳۸۷	۰٫۴۳۲	۰٫۲۸۷	۰٫۳۵۱	۰٫۳۹۷	۰٫۴۲۴	۰٫۲۸۵	۰٫۳۳۹	۰٫۴۰۵	۰٫۴۴۶
Ca	۰٫۹۳۶	۰٫۹۲۷	۰٫۸۹۴	۰٫۸۹۱	۰٫۹۴۳	۰٫۹۳۴	۰٫۹۰۵	۰٫۸۹۴	۰٫۹۴۲	۰٫۹۲۹	۰٫۹۱۱	۰٫۹۰۳	۰٫۹۴۵	۰٫۹۳۷	۰٫۹۱۰	۰٫۹۰۷	۰٫۹۴۶	۰٫۹۳۴	۰٫۹۰۰	۰٫۸۹۶
Na	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
K	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱
مجموع	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰
Fe/(Fe+Mg)	۰٫۷۰۰	۰٫۶۵۲	۰٫۶۰۹	۰٫۵۷۷	۰٫۷۱۴	۰٫۶۸۰	۰٫۶۳۶	۰٫۵۹۸	۰٫۷۱۱	۰٫۶۶۲	۰٫۶۳۶	۰٫۵۹۸	۰٫۷۲۰	۰٫۶۶۸	۰٫۶۳۰	۰٫۶۰۲	۰٫۷۲۲	۰٫۶۷۵	۰٫۶۲۴	۰٫۵۸۹
Mn/Fe	۰٫۰۳۳	۰٫۰۱۹	۰٫۰۲۶	۰٫۰۳۳	۰٫۰۴۰	۰٫۰۲۱	۰٫۰۱۹	۰٫۰۱۷	۰٫۰۳۷	۰٫۰۱۹	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۶	۰٫۰۳۷	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۸	۰٫۰۴۱	۰٫۰۳۷	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۸
محاسبه هنجاری اعضای انتهایی،																				
ولاستونیت	۴۶٫۹۳	۴۶٫۴۶	۴۴٫۸۰	۴۴٫۶۰	۴۷٫۲۳	۴۶٫۸۰	۴۵٫۵۷	۴۴٫۹۷	۴۷٫۲۹	۴۶٫۵۵	۴۵٫۷۱	۴۵٫۲۷	۴۷٫۳۶	۴۶٫۸۷	۴۵٫۵۹	۴۵٫۴۲	۴۷٫۳۷	۴۶٫۸۴	۴۵٫۱۲	۴۴٫۸۰
انستاتیت	۱۵٫۵۳	۱۸٫۳۸	۲۱٫۲۰	۲۲٫۹۹	۱۴٫۶۹	۱۶٫۸۰	۱۹٫۵۵	۲۱٫۸۵	۱۴٫۸۵	۱۷٫۸۳	۱۹٫۴۱	۲۱٫۶۶	۱۴٫۳۹	۱۷٫۵۴	۱۹٫۹۱	۲۱٫۲۳	۱۴٫۲۹	۱۷٫۰۱	۲۰٫۲۹	۲۲٫۳۰
فروسیلیت	۳۷٫۵۴	۳۵٫۱۶	۳۳٫۹۹	۳۲٫۴۲	۳۸٫۰۸	۳۶٫۴۰	۳۴٫۸۹	۳۳٫۱۸	۳۷٫۸۵	۳۵٫۶۳	۳۴٫۸۹	۳۳٫۰۶	۳۸٫۲۶	۳۵٫۶۰	۳۴٫۵۰	۳۳٫۳۵	۳۸٫۳۴	۳۶٫۱۵	۳۴٫۵۹	۳۲٫۹۰
آشکار نشده=n.d.									مقدار آهن کل=FeO*											

ادامه جدول ۲

نمونه	OSH.EPMA.CPX.11				OSH.EPMA.CPX.12				OSH.EPMA.CPX.13				OSH.EPMA.CPX.14				OSH.EPMA.CPX.15			
توضیح	مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه			مرکز	لبه		
SiO2 (%)	۴۹٫۹۲	۵۰٫۱۶	۵۰٫۸۶	۵۰٫۹۴	۴۹٫۸۷	۵۰٫۲۶	۵۰٫۴۵	۵۰٫۵۸	۴۹٫۷۶	۵۰٫۰۲	۵۰٫۶۳	۵۰٫۷۲	۴۹٫۶۴	۵۰٫۱۴	۵۰٫۴۴	۵۰٫۵۱	۴۹٫۳۸	۴۹٫۸۱	۵۰٫۱۳	۵۰٫۲۹
TiO2	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۶	۰٫۰۸
Al2O3	۰٫۰۷	۰٫۲۷	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۱۱	۰٫۱۶	۰٫۰۷	۰٫۱۸	۰٫۰۸	۰٫۱۲	۰٫۰۶	۰٫۰۳	۰٫۱۳	۰٫۲۰	۰٫۰۷	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۱۸
Cr2O3	n.d.	n.d.	۰٫۰۲	۰٫۰۱	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۱	n.d.	n.d.
FeO*	۲۲٫۲۱	۲۱٫۱۳	۲۰٫۱۲	۱۹٫۵۴	۲۲٫۳۳	۲۱٫۶۳	۲۰٫۹۱	۱۹٫۹۹	۲۲٫۶۲	۲۱٫۹۸	۲۱٫۰۸	۲۰٫۱۸	۲۲٫۷۹	۲۲٫۲۹	۲۱٫۷۸	۲۰٫۸۵	۲۳٫۲۱	۲۲٫۷۶	۲۱٫۸۳	۲۰٫۸۲
MnO	۰٫۸۰	۰٫۹۷	۰٫۷۸	۰٫۱۲	۰٫۹۴	۰٫۳۴	۰٫۴۲	۰٫۵۲	۰٫۹۶	۰٫۶۱	۰٫۴۴	۰٫۳۳	۱٫۱۹	۰٫۶۲	۰٫۵۴	۰٫۰۷	۱٫۲۱	۰٫۲۵	۰٫۰۹	۰٫۵۴
MgO	۴٫۷۱	۵٫۲۶	۷٫۱۴	۸٫۳۱	۴٫۳۶	۵٫۴۱	۶٫۱۵	۶٫۸۷	۳٫۹۲	۴٫۷۲	۶٫۲۳	۷٫۰۷	۳٫۴۳	۴٫۳۱	۴٫۹۶	۶٫۱۲	۳٫۱۴	۴٫۱۷	۵٫۳۲	۵٫۸۲
CaO	۲۲٫۱۳	۲۲٫۰۶	۲۰٫۷۳	۲۰٫۸۴	۲۲٫۲۸	۲۲٫۱۹	۲۱٫۷۹	۲۱٫۷۴	۲۲٫۴۶	۲۲٫۳۹	۲۱٫۴۱	۲۱٫۴۶	۲۲٫۶۳	۲۲٫۴۷	۲۲٫۰۶	۲۱٫۹۹	۲۲٫۷۹	۲۲٫۷۱	۲۲٫۰۹	۲۲٫۰۸
Na2O	۰٫۰۱	۰٫۰۴	n.d.	۰٫۰۲	۰٫۰۴	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۴	۰٫۰۲	n.d.	۰٫۰۷	۰٫۰۲	n.d.	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۸	۰٫۰۱	۰٫۱۹	۰٫۱۱
K2O	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۱	n.d.	۰٫۰۱	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۱	۰٫۰۱	n.d.	۰٫۰۱	۰٫۰۱	n.d.	n.d.	۰٫۰۳	۰٫۰۲
مجموع	۹۹٫۸۸	۹۹٫۹۳	۹۹٫۷۵	۹۹٫۹۳	۹۹٫۸۹	۹۹٫۹۱	۹۹٫۸۷	۹۹٫۹۳	۹۹٫۸۵	۹۹٫۹۶	۹۹٫۹۳	۱۰۰٫۰۴	۹۹٫۷۷	۹۹٫۸۷	۹۹٫۹۸	۹۹٫۸۳	۹۹٫۸۸	۹۹٫۸۵	۹۹٫۸۵	۹۹٫۹۴
تعداد یون ها بر پایه ۶ اتم اکسیژن																				
Si	۱٫۹۹۶	۱٫۹۹۵	۲٫۰۰۸	۱٫۹۹۲	۱٫۹۹۸	۱٫۹۹۹	۱٫۹۹۹	۱٫۹۹۳	۱٫۹۹۹	۱٫۹۹۶	۲٫۰۰۵	۱٫۹۹۴	۲٫۰۰۲	۲٫۰۰۹	۲٫۰۰۹	۲٫۰۰۰	۱٫۹۹۲	۱٫۹۹۷	۱٫۹۹۲	۱٫۹۹۲
Ti	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲
Al	۰٫۰۰۳	۰٫۰۱۳	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۸
Cr	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Fe2+	۰٫۷۴۳	۰٫۷۰۳	۰٫۶۶۴	۰٫۶۳۹	۰٫۷۴۸	۰٫۷۱۹	۰٫۶۹۳	۰٫۶۵۹	۰٫۷۶۰	۰٫۷۳۴	۰٫۶۹۸	۰٫۶۶۳	۰٫۷۶۹	۰٫۷۴۷	۰٫۷۲۶	۰٫۶۹۰	۰٫۷۸۳	۰٫۷۶۳	۰٫۷۲۶	۰٫۶۸۹
Mn	۰٫۰۲۷	۰٫۰۳۳	۰٫۰۲۶	۰٫۰۰۴	۰٫۰۳۲	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۷	۰٫۰۳۳	۰٫۰۲۱	۰٫۰۱۵	۰٫۰۱۱	۰٫۰۴۱	۰٫۰۲۱	۰٫۰۱۸	۰٫۰۰۲	۰٫۰۴۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۳	۰٫۰۱۸
Mg	۰٫۲۸۱	۰٫۳۱۲	۰٫۴۲۰	۰٫۴۸۴	۰٫۲۶۰	۰٫۳۲۱	۰٫۳۶۳	۰٫۴۰۴	۰٫۲۳۵	۰٫۲۸۱	۰٫۳۶۸	۰٫۴۱۴	۰٫۲۰۶	۰٫۲۵۷	۰٫۲۹۵	۰٫۳۶۱	۰٫۱۸۹	۰٫۲۴۹	۰٫۳۱۵	۰٫۳۴۴
Ca	۰٫۹۴۸	۰٫۹۴۰	۰٫۸۷۷	۰٫۸۷۳	۰٫۹۵۶	۰٫۹۴۶	۰٫۹۲۵	۰٫۹۱۸	۰٫۹۶۷	۰٫۹۵۷	۰٫۹۰۸	۰٫۹۰۴	۰٫۹۷۸	۰٫۹۶۴	۰٫۹۴۱	۰٫۹۳۳	۰٫۹۸۵	۰٫۹۷۵	۰٫۹۴۱	۰٫۹۳۷
Na	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۱	۰٫۰۱۵	۰٫۰۰۸
K	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱
مجموع	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰
Fe/(Fe+Mg)	۰٫۷۲۶	۰٫۶۹۳	۰٫۶۱۳	۰٫۵۶۹	۰٫۷۴۲	۰٫۶۹۱	۰٫۶۵۶	۰٫۶۲۰	۰٫۷۶۴	۰٫۷۲۳	۰٫۶۵۵	۰٫۶۱۶	۰٫۷۸۹	۰٫۷۴۴	۰٫۷۱۱	۰٫۶۵۷	۰٫۸۰۶	۰٫۷۵۴	۰٫۶۹۷	۰٫۶۶۷
Mn/Fe	۰٫۰۳۶	۰٫۰۴۷	۰٫۰۳۹	۰٫۰۰۶	۰٫۰۴۳	۰٫۰۱۵	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۶	۰٫۰۴۳	۰٫۰۲۹	۰٫۰۲۱	۰٫۰۱۷	۰٫۰۵۳	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۵	۰٫۰۰۳	۰٫۰۵۲	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۴	۰٫۰۲۶
محاسبه هنجاری اعضای انتهایی																				
ولاستونیت	۴۷٫۴۴	۴۷٫۳۰	۴۴٫۰۹	۴۳٫۶۵	۴۷٫۹۰	۴۷٫۳۴	۴۶٫۳۵	۴۵٫۹۵	۴۸٫۴۸	۴۸٫۰۵	۴۵٫۶۵	۴۵٫۳۷	۴۹٫۰۵	۴۸٫۴۴	۴۷٫۵۲	۴۶٫۹۴	۴۹٫۳۲	۴۸٫۸۶	۴۷٫۴۳	۴۷٫۱۴
انستاتیت	۱۴٫۰۵	۱۵٫۶۹	۲۱٫۱۳	۲۴٫۲۲	۱۳٫۰۴	۱۶٫۰۶	۱۸٫۲۱	۲۰٫۲۱	۱۱٫۷۷	۱۴٫۱۰	۱۸٫۴۸	۲۰٫۸۰	۱۰٫۳۵	۱۲٫۹۳	۱۴٫۸۷	۱۸٫۱۸	۹٫۴۶	۱۲٫۴۹	۱۵٫۹۰	۱۷٫۲۹
فروسیلیت	۳۸٫۵۱	۳۷٫۰۱	۳۴٫۷۸	۳۲٫۱۲	۳۹٫۰۵	۳۶٫۶۰	۳۵٫۴۴	۳۳٫۸۴	۳۹٫۷۵	۳۷٫۸۶	۳۵٫۸۷	۳۳٫۸۳	۴۰٫۶۱	۳۸٫۶۳	۳۷٫۶۱	۳۴٫۸۹	۴۱٫۲۲	۳۸٫۶۵	۳۶٫۶۷	۳۵٫۵۷
آشکار نشده=n.d.									مقدار آهن کل=FeO*											

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.1.5]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.3]



شکل ۳ نمودار گریزندگی اکسیژن نسبت به دما و اثر XCO_2 در فشار ۲ کیلوبار و موقعیت بخش دگرگونی پیشرونده اسکارن عشوند بر آن (هاله قرمز رنگ). نبود ولاستونیت در مجموعه کانیایی این منطقه نشان دهنده XCO_2 کمتر از ۰/۲ است [۹،۱۰]. (MH: بافر مگنتیت و هماتیت، PPM: بافر پیریت، پیروتیت و مگنتیت، NNO: بافر نیکل و اکسید نیکل، FMQ: بافر فایالیت، مگنتیت و کوارتز، Py: پیریت، Po: پیروتیت، Mt: مگنتیت، Cp: کالکوپیریت، Bn: بورنیت، Qz: کوارتز، Cal: کلسیت، Wo: ولاستونیت، And: آندرادیت و Hm: هماتیت).

دما فشارسنجی گارنت—کلینوپیروکسن

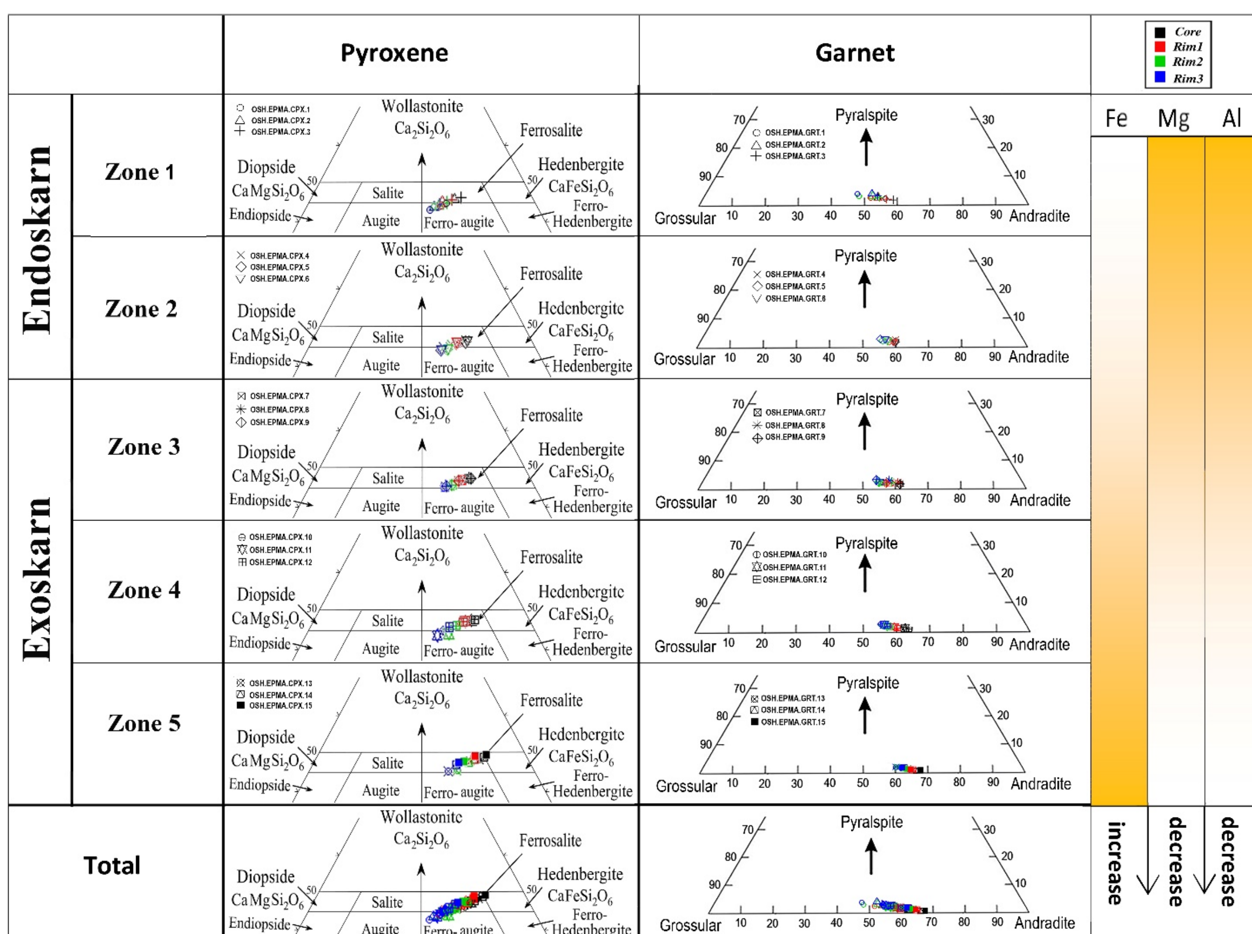
واکنش‌های دگرگونی می‌توانند بازتاب کننده شرایط فشار و دمای رخساره‌های دگرگونی باشند. برای مشخص نمودن این شرایط به داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی کانی‌ها نیاز است [۱۱]. تغییرات ترکیب شیمیایی در کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن طی اسکارنی‌شدن برای تعیین شرایط دما–فشار تشکیل این کانی‌ها مورد استفاده می‌شوند [۱۲،۱۳].

از اصول دماسنج‌های قراردادی، تبادل آهن و منیزیم بین کانی‌های فرومنیزیم‌دار است. در این رابطه می‌توان به روش‌های دماسنجی گارنت-کلینوپیروکسن اشاره کرد. با دماسنجی گارنت-کلینوپیروکسن بر اساس روش‌های مراجع [۱۴-۱۹] به ترتیب: 550-660, 580-710, 620-680, 580-770, 730- 650, 620-720 درجه سانتی‌گراد به دست آمد. بر اساس محاسبات انجام شده می‌توان چنین گفت که اسکارن عشوند نهاوند در فشار تقریبی ۲-۱ کیلوبار و عمق حدود ۵ کیلومتری تشکیل شده است. حضور کانی‌های بی‌آب اولیه چون کلینوپیروکسن و گارنت در بخش پیشرونده اسکارن می‌تواند گستره بالای دما و XCO_2 را در زمان تشکیل اسکارن مشخص کند [۲۰،۲۱]. در بیشتر اسکارن‌های دنیا، XCO_2 از ۰/۰۵ تا ۰/۲ متغیر است [۲۲]. در اسکارن نهاوند به دلیل نبود ولاستونیت در مجموعه کانی‌ها، XCO_2 کمتر از ۰/۲ است. مجموعه گارنت‌های همزیست با کلینوپیروکسن اولیه و نبود ولاستونیت نشان دهنده تشکیل اسکارن پیشرونده در دمای بیشینه حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد از سیال‌هایی با XCO_2 کمتر از ۰/۲ است همچنین مقدار گریزندگی اکسیژن (fO_2) را می‌توان بین ۱۶- تا ۲۷- برآورد نمود [۹،۱۰] (شکل۳).

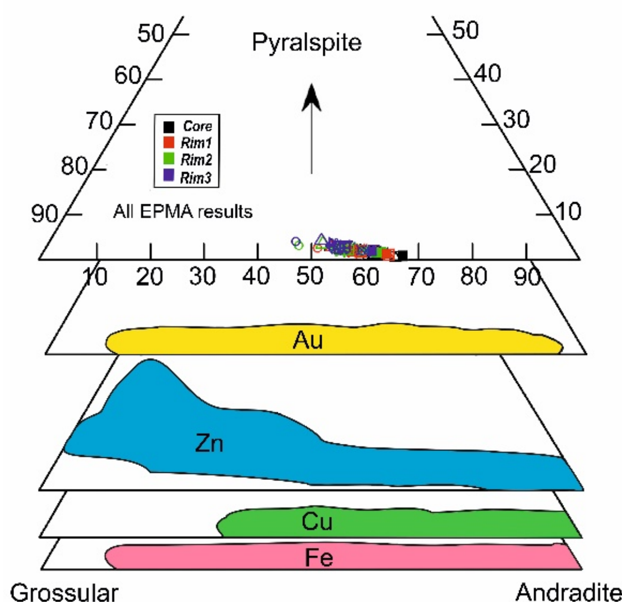
شرایط فیزیکوشیمیایی مرحله پیش‌رونده تشکیل اسکارن

در اسکارن عشوند، اغلب گارنت‌ها به کانی‌های ثانویه دگرسان شده‌اند. شکل ۴ جایگاه هر نمونه بین سه ضلع مثلث آندرادیت_ کانی‌های گروه پیرالسپیت_گراسولار و نتایج تجزیه نقطه‌ای بلورهای گارنت از مرکز به لبه بلور را نشان می‌دهد. ترکیب اغلب گارنت‌های این منطقه در گستره سری آندرادیت_گراسولار قرار دارد ($Adr_{67.2-45.9}$ $Gro_{50.1-31.8}$ $Sps_{1.8-0.3}$ $Prp_{2.5-0.6}$). ارتباط بین ترکیب گارنت‌ها و نوع کانه فلزی موجود در اسکارن‌ها مانند کانسارهای اسکارنی مس، طلا، روی و آهن در نمودار مثلثی شکل ۵ آورده شده است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.1.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.3]



شکل ۴ ترکیب گارنت‌های برداشت شده از پهنه‌های مختلف اسکارن عشوند در نمودار سه تایی گروسولاریت - آندرادیت - پیرالسپیت و کلینوپیروکسن در نمودار سه تایی انستاتیت - ولاستونیت - فروسیلیت. از مرکز تا لبه بلورها بر اساس نتایج تجزیه نقطه‌ای.



شکل ۵ ترکیب گارنت‌های اسکارن عشوند در نمودار سه تایی گروسولار - آندرادیت - پیرالسپیت. نواحی سایه‌دار گستره ترکیب گارنت را برای ذخایر اسکارنی طلا، آهن، مس و روی نشان می‌دهند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.1.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.3]

ترکیب شیمیایی گارنت‌های این منطقه به نهشته‌های اسکارنی نوع آهن_طلا_مس نزدیک است [۲۳-۲۶]. براساس محاسبات انجام شده می‌توان ترکیب شیمیایی گارنت‌های منطقه عشوند نهاوند را به صورت زیر پیشنهاد داد (نشانه‌های اختصاری برگرفته از مرجع [۸]):

$Ca_{(2.77-2.94)}Mg_{(0.01-0.07)}Mn_{(0.01-0.05)}Fe^{2+}_{(0.34-0.41)}Fe^{3+}_{(0.83-1.16)}Al_{(0.6-1)}Ti_{(0.01-0.03)}Si_{(2.98-3.04)}O_{12}$ (۱)

بخش زیادی از عنصر کلسیم موجود در نتایج تجزیه کانی‌های گارنت در ارتباط با کلریتی شدن درز و شکاف‌های موجود در گارنت، تراوش سیال‌های و نزدیکی به سنگ میزبان کربناتی تأمین شده است [۲۸،۲۷]. مقدار بسیار کم عنصر تیتانیوم در گارنت نشانگر فعالیت بالای SiO_2 طی رشد بلور است [۲۹]. این مقدار کم گویای تفکیک نمایان بلورهای گارنت اسکارن و خاستگاه گرانیت است [۲۷،۲۶]. بخش زیادی از کانی‌های کلینوپیروکسن طی دگرگونی پس‌رونده به کانی‌های سیلیکاتی آهکی، دگرسان می‌شوند. درز و شکاف‌های بسیار ریز موجود در گارنت‌ها و کلینوپیروکسن‌های این منطقه را می‌توان عامل تراوش سیال‌ها و دگرسانی در مرحله دگرگونی پس‌رونده این اسکارن دانست. بررسی‌های سنگ‌شناسی نشان می‌دهد که اکتینولیت از کانی‌های اصلی این کانسار بوده و ترکیب کلینوپیروکسن اغلب از نوع هدنبرژیت است. ترکیب کانی‌شناسی کلینوپیروکسن بر اساس شش اتم اکسیژن محاسبه شد و بنابراین می‌توان ترکیب شیمیایی زیر را برای بلورهای کلینوپیروکسن این کانسار پیشنهاد داد.

$Na_{(0-0.015)}Ca_{(0.849-0.985)}Mg_{(0.189-0.528)}Fe^{2+}_{(0.586-0.783)}Al_{(0.001-0.013)}Si_{(1.991-2.009)}O_6$ (۲)

نسبت های پیروکسن - گارنت می‌تواند بینش مهمی در مورد عوامل زمین‌شیمیایی اساسی چون شرایط اکسایش- کاهش محیط، ترکیب سنگ‌های نفوذی درگیر، رده‌بندی و پی جویی ذخایر اسکارنی در اختیار قرار دهد [۳۱،۳۰۲۵،۲۳]. افزون بر این، ترکیب هدنبرژیتی پیروکسن‌ها بطرف بخش‌های بیرونی اسکارن افزایش می‌یابد [۲۸،۲۵]. اغلب کانسارهای اسکارنی دارای منطقه‌بندی هستند و شناسایی این منطقه‌بندی برای پی جویی آنها بسیار مهم است. در این کانسار، کلینوپیروکسن‌های موجود در بخش‌های بیرونی اسکارن و نزدیک به سنگ میزبان کربناتی دارای هدنبرژیت بیشتری نسبت به کلینوپیروکسن‌های موجود در بخش‌های درونی اسکارن و نزدیک به توده نفوذی هستند. از این نکته اکتشافی می‌توان در بخش‌هایی از کانسار که به‌دلایل فرسایشی بدون پوشش کربناتی است، برای پیش‌بینی جایگاه کنونی در فضای سه‌بعدی اسکارن استفاده نمود. همچنین براساس این نکته و بسط داده‌های اکتشافی می‌توان به جایگاه منطقه‌بندی اسکارن در فضای سه‌بعدی در سایر اسکارن‌های مشابه که داده‌های حفاری ندارند تا حدی پی‌برد. ترکیب کانی‌های گارنت در منطقه اسکارن عشوند اغلب در گستره گراسولار_آندرادیت قرار دارند ($Adr_{67.2-45.9}$ $Gro_{50.1-31.8}$ $Sps_{1.8-0.3}$ $Prp_{2.5-0.6}$) و بنابراین ترکیب گارنت‌های این منطقه در گستره اسکارن‌های آهن، طلا، مس قرار می‌گیرند (شکل ۵). بر پایه داده‌های زمین شیمیایی، از مرکز کانی‌های گارنت به‌سمت لبه، بتدریج مقدار آندرادیت کاهش و مقدار گراسولار، پیروپ و اسپسارتین افزایش می‌یابد. افزایش پیرالسپیت‌ها مانند پیروپ، آلماندن و اسپسارتین از مرکز بلورهای گارنت به‌سمت لبه با جانشینی آلومینیوم توسط آهن سه ظرفیتی ارتباط دارد که می‌تواند نتیجه افزایش fO_2 طی رشد گارنت و تکامل سیال‌ها باشد [۲۴]. نتایج نشان می‌دهد که نسبت $Mg/(Mg + Fe)$ در گارنت‌ها و پیروکسن‌های منطقه عشوند پایین است. همچنین این بلورها مقادیر پایینی از TiO_2, MnO, Cr_2O_3 و Na_2O را دربر دارند و از عناصر آهن و کلسیم غنی هستند (جدول‌های ۱ و ۲). از این رو می‌توان گفت که پیروکسن‌ها و گارنت‌های این منطقه همزمان تشکیل شده‌اند و بنابراین دمای تشکیل هدنبرژیت مشابه کانی‌های گروه پیرالسپیت بوده است. بر اساس بررسی‌های لییو [۳۲]، پیرالسپیت و هدنبرژیت می‌توانند به طور همزمان و در دماهای بین ۴۹۰ تا ۵۶۰ درجه سانتیگراد تشکیل شوند. افزون بر این، می‌توان گفت که طی رشد این بلورها گریزندگی اکسیژن (fO_2) از مقادیر متوسط تا بالا بتدریج افزایش داشته و مقدار دما نیز تقریباً بالا بوده است [۳۳]. براساس شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانی‌های پیروکسن و گارنت و نتایج بررسی‌های کانه‌شناسی می‌توان نتیجه گرفت که شرایط اکسایش و کاهش محیط در آغاز دگرگونی پیشرونده اکسیدی بوده است. سپس با پیشرفت مراحل اسکارنی‌شدن، شرایط اکسیدی‌تر شده بطوریکه در پایان مرحله دگرگونی پیشرونده و آغاز دگرگونی پسرونده، محیط اسکارن در اکسیدی‌ترین حالت خود بوده، که نتیجه آن تشکیل کانی مگنتیت در پایان مرحله دگرگونی پیشرونده و آغاز دگرگونی پسرونده است. سپس با ادامه دگرگونی پسرونده، نخست کانی‌های سولفیدی چون پیریت، کالکوپیریت و حتی پیروتیت تشکیل می‌شوند. پس از آن با دخالت سیال‌های با خاستگاه جوی، شرایط محیط به‌سمت اکسیدی سوق می‌یابد که نتیجه آن تشکیل مقادیر بالای هماتیت در منطقه است.

برداشت

تفسیر داده‌های تجزیه نقطه‌ای کانی‌ها از راه‌های بررسی چگونگی تکامل مایعات و شرایط دما و فشار تشکیل اسکارن طی رشد بلورها بوده که نتیجه آن شناسایی تکامل سیال‌ها بر

اساس تغییر در ترکیب زمین زمین‌شیمیایی عناصر طی رشد کانی‌های پیروکسن و گارنت است. چنان که یافته‌های این پژوهش نشان داد، داده‌های تجزیه نقطه‌ای کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن در کانسار اسکارنی عشوند بینش مناسبی در مورد عوامل زمین شیمیایی اساسی مانند شرایط اکسایش و کاهش سیال‌ها، دما، فشار و رده‌بندی این ذخیره اسکارنی ارائه می‌دهد. افزایش پیوسته و تدریجی Fe^{+3} از مرکز به لبه بلورهای گارنت را نیز می‌تواند به افزایش fO_2 طی رشد گارنت نسبت داد. ترکیب کلینوپیروکسن‌های این اسکارن اغلب هدنبرژیت تا دیوپسید ($Fs_{41.2-30.6}$ $En_{26.6-9.5}$ $Wo_{49.3-42.8}$) با مقادیر کمی از عناصر Na, Ti, Al, Cr با نسبت Fe/(Fe + Mg) بین ۰/۵۲ تا ۰/۸ است. نتایج تجزیه نقطه‌ای بلورهای گارنت نشان می‌دهد که سری ترکیبی گراسولار تا آندرادیت ($Gro_{50.1-31.8}$ $Adr_{67.2-45.9}$ $Sps_{1.8-0.3}$ $Prp_{2.5-0.6}$) با مقادیر کمی از تیتانیوم و نسبت Fe/(Fe+Al) بین ۰/۵۵ تا ۰/۷۳ در بخش اسکارنی این منطقه گسترش دارد. ترکیب شیمیایی گارنت‌های منطقه اسکارن عشوند مشابه گارنت‌های موجود در ذخایر اسکارنی طلا_مس_آهن است. توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی عشوند با سیال‌های به نسبت اکسیدی به سایر ذخایر اسکارنی Au-Cu-Fe شباهت دارند. نتایج این پژوهش نشانگر تشکیل بخش پیشرونده این اسکارن در فشار ۱ تا ۲ کیلوبار، عمق حدود ۵ کیلومتری، دمای بیشینه حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، XCO_2 کمتر از ۰/۲ و گریزندگی اکسیژن ۱۶- تا ۲۷- است.

قدردانی

نویسندگان از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران به ویژه جناب آقایان مهندس برنا و مهندس ادیب که از حمایت‌ها و پی‌گیری‌هایشان طی انجام این پژوهش بهره‌مند بوده‌ایم سپاسگزارند همچنین، از سرکار خانم مهندس فرخنده خادمی که در بخش محاسبات دما و فشار، تجارب ارزنده خود را در اختیار ما قرار دادند و با دانش بالا و دقت نظر خود انجام این پژوهش را میسر نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

[1] Alavi M., *"Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations"*, Tectonophysics 229 (1994) 211-238. [Doi:10.1016/0040-1951(94)90030-2]

[2] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., *"An introduction to the rock-forming minerals"*, Mineralogical Society of Great Britain and Ireland (2013). [DOI: https://doi.org/10.1180/DHZ]

[3] Ghafari S. T., Yazdi M., Fodazi M., Taghilo A., Movahedi M., *"Estimation of the reserve of polymetallic and gold mineralization of the Oshvand skarn, Nahavand (in Persian)"*, Iran Journal Environmental Geology 17 (2012) 15-27.

[4] Movahedi M., Yazdi M., Behzadi M., *"Mineralogy and skarn zonation in Cu-Au-Fe deposit of Oshvand, Nahavand"*, 12th National Congress of Geology, Payame Noor University, Qazvin, Iran (2020). (in Persian with English abstract)

[5] Movahedi M., Yazdi M., Behzadi M., *"Mineralogy, geometry, and geochemistry of copper, gold, and Iron Oshvand Skarn deposits, Nahavand, Iran"*, 27th National Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran (2020).

[6] Movahedi M., Yazdi M., Behzadi M., *"Mineralogy of alteration zones in Oshvand copper, gold, and iron skarn ore deposit based on remote sensing data"*, 27th National Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran (2020).

[7] Ahadnejad V., Valizadeh M. V., Deevsalar R., Rezaei-Kahkhaei M., *"Age and geotectonic position of the Malayer granitoids: Implication for plutonism in the Sanandaj-Sirjan zone, W Iran"*, Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen 261 (2011) 61-75. [DOI: 10.1127/0077-7749/2011/0149].

[8] Whitney D. L., Evans B. W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist Journal 95 (2010) 185-187.

[9] Hochella, M., *"Aspects of structure and rheology of aluminosilicate melts."* (1982): 3160-3160.

[10] Liou, J. G., *"Synthesis and stability relations of epidote, Ca2Al2FeSi3O12 (OH)."* Journal of Petrology 14.3 (1973): 381-413.

[11] Shahabpour J., *"Economic geology"*, Kerman: Bahonar University (2006) 500.

[12] Dziggel A., Wulff K., Kolb J., Meyer F. M., Lahaye Y., *"Significance of oscillatory and bell-shaped growth zoning in hydrothermal garnet: evidence from the Navachab gold deposit Namibia"*, Journal of Chemical Geology 262 (2009) 262-276. [DOI: 10.1016/j.chemgeo.2009.01.027]

[13] Lindsley D. H., *"Pyroxene thermometry"*, American Mineralogist 68 (1983) 477-493.

[14] Ellis, D. J., and D. H. Green. *"An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria."* Contributions to Mineralogy and Petrology 71.1 (1979): 13-22.

[15] Ai, Y., *"A revision of the garnet-clinopyroxene Fe^{2+}-Mg exchange geothermometer."* Contributions to Mineralogy and Petrology 115.4 (1994): 467-473.

[16] Ganguly, J., *"Garnet and clinopyroxene solid solutions, and geothermometry based on Fe-Mg distribution coefficient."* Geochimica et Cosmochimica Acta 43.7 (1979): 1021-1029.

[26] Ahmadnejad F., Zamanian H., Sameti M., *"Geochemistry and economic potential of the Samen Granitoid Intrusion, Northwestern Iran: Implications for skarn mineralization"*, Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry 194 (2017) 175-203. [DOI: 10.1127/njma/2017/0031]

[27] Hwang S. L., Shen P., Yui T. F., Chu H. T., *"On the mechanism of resorption zoning in metamorphic garnet"*, Journal of Metamorphic Geology 21 (2003) 761-769. [DOI: 10.1046/j.1525-1314.2003. 00477.x]

[28] Baghban S., Hosseinzadeh M. R., Moayyed M., Mokhtari M. A. A., Gregory D., *"Geology, mineral chemistry and formation conditions of calc-silicate minerals of Astamal Fe-LREE distal skarn deposit, Eastern Azarbaijan Province, NW Iran"*, Ore Geology Reviews 68 (2015) 79-96. [DOI: 10.1016/j.oregeorev.2014.12.016]

[29] Dingwell D. B., Brearley M., *"Mineral chemistry of igneous melanite garnets from analcite-bearing volcanic rocks, Alberta, Canada"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 90 (1985) 29-35.

[30] Logan M. A. V., *"Mineralogy and geochemistry of the Gualilán skarn deposit in the Precordillera of western Argentina"*, Ore Geology Reviews 17 (2000) 113-138. [DOI: 10.1016/S0169-1368(00)00009-3]

[31] Somarin A. K., *"Garnet composition as an indicator of Cu mineralization: evidence from skarn deposits of NW Iran"*, Journal of Geochemical exploration 81 (2004) 47-57. [DOI: 10.1016/S0375-6742(03)00212-7]

[32] Liou J. G., *"Stability relations of andradite-quartz in the system Ca-Fe-Si-OH"*, American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials 59 (1974) 1016-1025.

[33] Burt D. M., *"Mineralogy and geochemistry of Ca-Fe-Si skarn deposits"*, (Doctoral dissertation, Harvard University) (1972).

[17] Ganguly, J., Weiji, C., and Massimiliano, T., *"Thermodynamics of aluminosilicate garnet solid solution: new experimental data, an optimized model, and thermometric applications."* Contributions to Mineralogy and Petrology 126.1 (1996): 137-151.

[18] Nakamura, D. *"A new formulation of garnet–clinopyroxene geothermometer based on accumulation and statistical analysis of a large experimental data set."* Journal of Metamorphic Geology 27.7 (2009): 495-508.

[19] Berman, R. G., L. Ya Aranovich, and D. R. M. Pattison. *"Reassessment of the garnet-clinopyroxene Fe− Mg exchange thermometer: II. Thermodynamic analysis."* Contributions to Mineralogy and Petrology 119.1 (1995): 30-42.

[20] Meinert, L. D., et al., *"Formation of anhydrous and hydrous skarn in Cu-Au ore deposits by magmatic fluids."* Economic Geology 98.1 (2003): 147-156.

[21] Kwak, T. A. P. "Fluid inclusions in skarns (carbonate replacement deposits)." Journal of Metamorphic Geology 4.4 (1986): 363-384.

[22] Einaudi, M. T., and MEINERT, LD., *"Skarn deposits."* (1981).

[23] Meinert L. D., *"Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits, Chemical evidence for genetic connection between petrogenesis and mineralization, in Thompson, J.F.H., ed, Magmas, fluids, and ore deposits, Min"*, Assoc Can Short Course Series 23 (1995) 401-418.

[24] Einaudi M. T., Burt D. M., *"Introduction; terminology, classification, and composition of skarn deposits"*, Economic geology 77 (1982) 745-754. [DOI: 10.29252/ijcm.26.1.229]

[25] Zuo P., Liu X., Hao J., Wang Y., Zhao R., Ge S., *"Chemical compositions of garnet and clinopyroxene and their genetic significances in Yemaquan skarn iron–copper–zinc deposit, Qimantagh, eastern Kunlun"*, Journal of Geochemical Exploration 158 (2015) 143-154. [DOI: 10.1016/j.gexplo.2015.07.011]